

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

TRABAJO FIN DE GRADO



**DISEÑO Y DESARROLLO DE UN ASCENSOR
DE OBRA MODULAR**

GRADO EN INGENIERIA MECANICA

Autor: Jorge Prieto Sosa

Tutor Universidad: Juan Carlos García Prada

Leganés, 26 de septiembre de 2017

Índice

ÍNDICE.....	I
ÍNDICE DE FIGURAS.....	III
ÍNDICE DE TABLAS.....	VI
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. MARCO HISTÓRICO.....	1
1.2. OBJETIVOS.....	5
1.3. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO.....	6
2. MARCO TEÓRICO / ESTADO DEL ARTE	7
3. DESCRIPCIÓN Y TIPOS DE ELEVADORES	11
3.1. ELEVADOR HIDRÁULICO.....	11
3.1.1. Tipos de elevadores hidráulicos.....	12
3.1.2. Elementos del sistema hidráulico	13
3.1.3. Ventajas y desventajas.....	14
3.2. ELEVADOR ELECTROMECÁNICO	14
3.2.1. Tipos de elevadores eléctricos.....	14
3.2.2. Elementos del sistema electromecánico	16
3.2.3. Elevador eléctrico de piñón-cremallera.....	17
4. ELEVADOR: SELECCIÓN, DESCRIPCIÓN Y DISEÑO DEL ELEVADOR MECÁNICO A DISEÑAR	20
4.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
4.2. SELECCIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ELEVADOR	21
4.3. DISEÑO DEL ELEVADOR: FASE MONTACARGAS.....	23
4.3.1. Recinto base	26
4.3.2. Mástil	26
4.3.3. Grupo motor.....	35
4.3.4. Paracaídas.....	39
4.3.5. Cabina	39
4.3.6. Puerta de planta.....	47
4.4. COMPONENTES DEL MONTACARGAS EN FASE JUMBO (PLATAFORMA DE TRANSPORTE)	48
4.4.1. Extensible modular.....	50
4.4.2. Recinto base (Plataforma de transporte)	51
4.4.3. Arriostre Jumbo	52
5. DISEÑO MECÁNICO: CÁLCULOS Y RESULTADOS	53
5.1. MOTO-REDUCTORES.....	54
5.1.1. Normativa aplicada.....	54
5.1.2. Proceso de cálculo	55
5.2. RESISTENCIA DEL DIENTE.....	56
5.2.1. Normativa aplicada.....	56
5.2.2. Diseño del grupo motor.....	59
5.2.3. Tipos de fallo	61
5.2.4. Proceso de cálculo	63
5.3. BASTIDOR.....	83

5.3.1.	<i>Normativa aplicada</i>	83
5.3.2.	<i>Base de cálculo</i>	83
5.3.3.	<i>Modelo geométrico</i>	84
5.3.4.	<i>Material</i>	85
5.3.5.	<i>Condiciones de contorno</i>	85
5.3.6.	<i>Cargas actuantes</i>	86
5.3.7.	<i>Mallado</i>	89
5.3.8.	<i>Resultados</i>	90
6.	DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE SEGURIDAD SEGÚN NORMATIVA	93
6.1.	PROTECCIONES FIJAS Y/O MÓVILES	94
6.2.	DISPOSITIVOS ACTIVOS DE SEGURIDAD.....	95
6.3.	DISPOSITIVOS PASIVOS DE SEGURIDAD.....	95
6.4.	PARACAÍDAS	98
7.	PROCEDIMIENTO DE MONTAJE Y DESMONTAJE	100
7.1.	PROCESO DE MONTAJE: MONTACARGAS.....	102
7.2.	PROCESO DE MONTAJE: PLATAFORMA DE TRANSPORTE.....	104
7.3.	PROCESO DE DESMONTAJE	105
8.	PLANIFICACIÓN SEMANAL DEL PROYECTO (DIAGRAMA DE GANTT)	106
9.	PRESUPUESTOS	107
9.1.	COSTE DE DISEÑO.....	107
9.2.	COSTE DE COMPRAS	107
9.3.	COSTE DE FABRICACIÓN	109
9.4.	COSTE DE ENSAYOS.....	110
9.5.	COSTE TOTAL	110
10.	CONCLUSIONES	111
11.	PROPUESTAS DE MEJORA PARA EL FUTURO	113
12.	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL ELEVADOR	115
13.	BIBLIOGRAFÍA	116
	ANEXO DE PLANOS	118

Índice de Figuras

Figura 1.1: Empleo de cigoñal antiguo	1
Figura 1.2: Otis mostrando su invento	3
Figura 1.3: Ascensor hidráulico	3
Figura 1.4: Ascensor de obra	4
Figura 2.1: Vista desde el ascensor de un rascacielos	7
Figura 2.2: Porcentaje de ascensores de la UE	8
Figura 2.3: Estadísticas de ascensores	9
Figura 2.4: Datos de accidentes consolidados a nivel nacional 2014. FEEDA	9
Figura 3.1: Organigrama de los tipos de elevador	11
Figura 3.2: Impulsión directa y diferencial	12
Figura 3.3: Elementos del sistema hidráulico	13
Figura 3.4: Elementos del elevador hidráulico	16
Figura 3.5: Montacargas/Plataforma de transporte/Elevador	18
Figura 4.1: Organigrama: planteamiento, selección y diseño	20
Figura 4.2: Montacargas base	23
Figura 4.3: Fase explosionada	24
Figura 4.4: Montacargas globos	25
Figura 4.5: Recinto base	26
Figura 4.6: Mástil acotado	27
Figura 4.7: Módulo de mástil	28
Figura 4.8: Mástil con globos	28
Figura 4.9: Plano de la base	30
Figura 4.10: Componentes de la base	31
Figura 4.11: Tope de goma y nivelador	31
Figura 4.12: Desglose del arriostre	32
Figura 4.13: Trolley	33
Figura 4.14: Conjunto guíacable	34
Figura 4.15: Patín guía	34
Figura 4.16: Grupo motor con globos	35
Figura 4.17: Motorreductor	36
Figura 4.18: Piñón	36
Figura 4.19: Conjuntos de rodillos	37
Figura 4.20: Freno manual	38
Figura 4.21: Micropulsador	38
Figura 4.22: Grúa	39
Figura 4.23: Paracaídas	39
Figura 4.24: Bastidor	40
Figura 4.25: Explosionado de cabina	41
Figura 4.26: Cabina con globos	42
Figura 4.27: Trampilla abatible de brazo	43
Figura 4.28: Trampilla de trabajo exterior	43

Figura 4.29: Juego de rodillos dobles	44
Figura 4.30: Fijación del grupo motor	44
Figura 4.31: Trampilla ventana.....	45
Figura 4.32: Trampilla abatible.....	45
Figura 4.33: Puerta de acceso	46
Figura 4.34: Puertas	46
Figura 4.35: Puerta de planta	47
Figura 4.36: Fase plataforma de transporte.....	48
Figura 4.37: Plataforma de transporte con globos	49
Figura 4.38: Uniones del extensible	50
Figura 4.39: Extensible modular.....	51
Figura 4.40: Recinto base (Plataforma de transporte).....	51
Figura 4.41: Arriostre (Plataforma de transporte)	52
Figura 5.1: Organigrama: Fase de cálculos.....	54
Figura 5.2: Engrane correcto del diente del piñón.....	57
Figura 5.3: Engrane mínimo del diente del piñón.....	58
Figura 5.4: Engrane correcto del diente.....	58
Figura 5.5: Engrane mínimo del diente	58
Figura 5.6: Diseño del grupo	59
Figura 5.7: Engrane con cremallera.....	60
Figura 5.8: Sobrecarga.....	62
Figura 5.9: Deterioro superficial en el flanco del diente.....	63
Figura 5.10: Línea de engrane con cremallera	64
Figura 5.11: Descomposición de las fuerzas	64
Figura 5.12: AGMA base del diente.....	65
Figura 5.13: Kv a velocidades altas.....	67
Figura 5.14: Factor geométrico	69
Figura 5.15: Resistencia a flexión	70
Figura 5.16: Factor de vida o duración.....	71
Figura 5.17: Resistencia a flexión	73
Figura 5.18: AGMA flanco del diente	74
Figura 5.19: Factor de duración	78
Figura 5.20: Factor de dureza.....	79
Figura 5.21: Resistencia a fatiga del diente.....	80
Figura 5.22: Bastidor	85
Figura 5.23: Condiciones de contorno	86
Figura 5.24: Cargas actuantes	86
Figura 5.25: Mallado	89
Figura 5.26: Caso Ib	90
Figura 5.27: Caso IIb.....	91
Figura 5.28: Caso IVb.....	92
Figura 6.1: EPI.....	94
Figura 6.2: Cuadro eléctrico de cabina.....	95
Figura 6.3: Situación en Plano	96

Figura 6.4: Situación en modelo real.....	96
Figura 6.5: Bloqueo de puertas electromecánico	97
Figura 6.6: Perfil de paracaídas	98
Figura 6.7: Engrane y movimiento del paracaídas	99
Figura 7.1: Organigrama de montaje y desmontaje	101
Figura 7.2: Distancias de la base del montacargas.....	102
Figura 7.3: Distancias de la base de la plataforma de transporte.....	104
Figura 11.1: Engrane para repartir carga	113
Figura 11.2: Nivelador de carga	114

Índice de Tablas

Tabla 3.1: Ventajas y desventajas del elevador hidráulico	14
Tabla 3.2: Ventajas y desventajas del elevador eléctrico sin cuarto de máquinas.....	15
Tabla 3.3: Ventajas y desventajas del elevador de piñón-cremallera.....	19
Tabla 4.1: Especificaciones generales de la propuesta	21
Tabla 4.2: Elementos del montacargas	25
Tabla 4.3: Componentes del mástil.....	29
Tabla 4.4: Componentes de la base	31
Tabla 4.5: Componentes del grupo motor	35
Tabla 4.6: Componentes de la cabina	42
Tabla 4.7: Componentes de la plataforma de transporte.....	49
Tabla 5.1: Propiedades de los motorreductores escogidos	56
Tabla 5.2: Datos conocidos del engrane	60
Tabla 5.3: Fallo por rotura en la base del diente	61
Tabla 5.4: Factor de aplicación (K_a)	67
Tabla 5.5: Factor de distribución de carga (K_m)	68
Tabla 5.6: Factor de confiabilidad (K_r)	72
Tabla 5.7: Coeficiente elástico (C_p).....	75
Tabla 5.8: Resistencia a fatiga por flexión.....	80
Tabla 5.9: Resistencia a fatiga superficial	81
Tabla 5.10: Iteraciones del ancho de cara.....	82
Tabla 5.11: Propiedades del material escogido	82
Tabla 5.12: Perfiles del bastidor	84
Tabla 5.13: Propiedades del material	85
Tabla 5.14: Resumen de cargas actuantes.....	88
Tabla 5.15: Casos de carga	88
Tabla 5.16: Distribución de los casos de carga.....	88
Tabla 5.17: Caso Ib	90
Tabla 5.18: Caso IIb	91
Tabla 5.19: Caso IVb	92
Tabla 6.1: Tipos de micropulsador	97
Tabla 6.2: Tamaños de paracaídas	99
Tabla 8.1: Diagrama de Grantt	106
Tabla 9.1: Coste de diseño	107
Tabla 9.2: Coste de compras	108
Tabla 9.3: Coste de fabricación	109
Tabla 9.4: Coste total	110
Tabla 12.1: Especificaciones del montacargas	115
Tabla 12.2: Variaciones de la plataforma de montaje	115



1. Introducción

1.1. Marco histórico

A lo largo de la historia, el ser humano se ha encontrado con diversos problemas cuya solución se obtuvo gracias al ingenio y la inventiva propia del mismo. Las personas han ido evolucionando a la par que su técnica, ya que gracias al surgimiento de nuevos inventos y técnicas se han podido conseguir hitos como especie jamás imaginados antes.

Uno de estos problemas que atenazaba al ser humano fue la necesidad de permitir el transporte vertical tanto de personas como de animales y carga.

La técnica más antigua de la que se tiene constancia para hacer frente a este problema data del 3000 a.C. en la antigua Mesopotamia. Esta técnica utilizaba un mecanismo rudimentario llamado **cigoñal**, el cual se utilizaba para sacar agua de un río o pozo y elevarla hasta la altura donde se necesitará esta. A simples rasgos se trata de un sistema de palanca en el que, gracias a un contrapeso, un palo largo y una vasija en el otro extremo se puede elevar el recipiente lleno hasta la altura que permitiera el sistema. Los chinos y los egipcios mejoraron esta técnica a lo largo de los siglos al añadirle pedales o mejores recipientes.



Figura 1.1: Empleo de cigoñal antiguo

Estas civilizaciones erigían construcciones y monumentos por encima de las tumbas de los personajes importantes de la época (sabios, reyes, etc.), los túmulos funerarios. Originalmente estas construcciones consistían en una pila de rocas que se podían ordenar mediante la fuerza humana, pero con el paso de los años se fue modificando su estructura para albergar cámaras funerarias cada vez mayores necesitando finalmente la mejora de la técnica de elevación para poder realizarse.

A los egipcios se les atribuye la mejora de los procesos para elevar carga, ya que gracias a esas mejoras pudieron honrar a los muertos mediante estructuras inmensas e inimaginables con la técnica anterior. El culmen de esto fueron las grandes **pirámides**, la primera data del año 2700 a.C. y se conoce como la “Pirámide Escalonada” de Saqqara construida por Imhotep, un erudito egipcio y primer ingeniero conocido de la historia. La teoría más aceptada es que utilizaron un sistema de poleas y trineos para mover las piedras a lo largo de grandes rampas situadas en la fachada exterior de las pirámides, sin embargo, se cree que también se utilizaron montacargas rudimentarios en las pirámides más modernas, acelerando enormemente el proceso de construcción.

A pesar de todo, tenemos que esperar hasta el año 236 a.C. para encontrar el primer elevador. Este lo desarrolló uno de los científicos más importantes de la antigüedad y también inventor del tornillo que lleva su mismo nombre, **Arquímedes**, quien gracias a un

sistema de cuerdas y poleas accionadas por animales era capaz de elevar carga y personas. Un sistema similar se piensa que se utilizó en la antigua Roma antes de descubrir el invento de Arquímedes para elevar carga y sacar agua de los pozos. Posteriormente, en el año 80 d.C., el emperador Tito utilizó el invento para elevar gladiadores y fieras dentro del Coliseo.

En el libro de los Secretos, escrito por el ingeniero Ibn Khalaf al-Muradi ^[1], se hace referencia a unos dispositivos de elevación usados en la España Islámica con fin bélico y para el transporte de personas y mercancía a lugares aislados mediante tracción animal a través de una cuerda enrollada en grandes tambores.

No hubo mayores mejoras hasta finales del siglo XVIII, cuando el inventor y relojero ruso Ivan Kulibin ideó e instaló un ascensor basado en un sistema de ruedas dentadas y tornillería de gran precisión en el Palacio de Invierno de San Petersburgo que permitía moverse de una planta a otra. Esta transmisión a tornillo supuso el primer paso hacia los ascensores modernos.

A principios del siglo XIX y gracias a la comercialización de las primeras **máquinas de vapor**, se empezó a elevar el carbón en las minas dejando atrás la fuerza de tracción humana y animal. En el año 1835, en plena revolución industrial, se comenzaron a utilizar máquinas de vapor para levantar cargas de gran tonelaje en una fábrica de Inglaterra, lo que supuso un gran avance en la industria. Diez años más tarde, el físico y matemático William Thompson puso en marcha el primer ascensor de accionamiento hidráulico. El accionamiento de este sistema era llevado a cabo por los propios usuarios, los cuales desplazaban mediante sistemas de cuerdas la cabina ayudados por la presión del agua corriente, la cual presionaba el embolo que mantenía la cabina suspendida. Posteriormente se implementaron sistemas de palancas y válvulas que regulaban la aceleración y deceleración de la cabina.

A pesar de estos avances, los ascensores de la época seguían sin ser seguros, ya que se desplomaban ocasionalmente y esto conllevaba a una reticencia por parte de la industria para adoptar completamente esta tecnología.

Sin embargo, en 1853 hubo un suceso que cambiaría la manera de pensar del mundo acerca de la utilidad de los ascensores y la futura comercialización de los mismos. Este punto de inflexión fue gracias al genio inventor **Elisha Graves Otis** ^[2]. Otis patentó un sistema de seguridad que, instalado en un elevador con sistema dentado, amortiguaba la caída de este en el caso de que se cortara el cable de sustento. Un año más tarde demostró la veracidad de su invento en una exposición en el Palacio de Cristal de Nueva York. Durante la presentación y una vez dentro de la cabina, ordenó que se cortara el cable de tracción con un hacha mientras la cabina estaba subiendo, parándose la máquina posteriormente gracias al sistema de seguridad que él mismo había patentado.



Figura 1.2: Otis mostrando su invento

Tras esta demostración empezó a implantarse el sistema en ascensores y montacargas en todo el globo, siendo el primero el 23 de marzo de 1857 en los almacenes E.V. Haughwout & Company de Nueva York. El ascensor era movido por una máquina de vapor y recorría las 5 plantas del edificio en 0.2 m/s y con una carga máxima de 450 Kg.

Diez años más tarde, el francés Léon Edoux presentó el ascensor hidráulico de presión indirecta, el cual utilizaba la presión del agua para que se moviera la cabina indirectamente mediante un sistema de émbolo y poleas o cremallera. Esto supuso una mejora de velocidad y recorrido para los ascensores de la época. Lo bautizó como “ascenseur”. Poco a poco los ascensores hidráulicos fueron sustituyendo a los ascensores elevados mediante máquinas de vapor, revolucionando el sector de la construcción.

Este cambio fue debido a que las ciudades empezaban a mirar hacia sus cielos a la hora de crecer. Empezaba a ser más rentable realizar edificios altos en vez de los hasta ese momento convencionales dos e incluso tres plantas.

Sin embargo, fue en 1872 cuando se desarrolló el primer **ascensor hidráulico** ‘moderno’. Un empleado de la compañía Otis, C. W. Baldwin, desarrolló un elevador hidráulico de transmisión por engranajes, el cual acabó retirando del mercado a los, tras ese momento, obsoletos primeros ascensores. Tras este invento en el seno de su compañía, Otis comenzó a producir y comercializar ascensores hidráulicos. La gran influencia de la compañía de Otis y el éxito posterior que tuvo la instalación de este tipo de ascensores supuso la confirmación de la idea que ya se estaba cociendo tras el invento del “ascenseur”, los edificios de numerosas alturas habían llegado para quedarse.

Hasta 1904, los elevadores hidráulicos fueron el sistema dominante en la elevación vertical en los edificios. Pero fue



Figura 1.3: Ascensor hidráulico

antes, en la Exposición de Mannheim de 1880, cuando se empezaron a ver alternativas viables al ascensor hidráulico gracias al incipiente uso de la electricidad en los hogares e industrias. Werner Von Siemens mostró en esa misma exposición el **primer ascensor accionado por electricidad** y movido por sistemas de piñones, el cual estaba destinado al movimiento vertical en edificios de baja altura debido a la lentitud de subida. Otis vislumbró el futuro que suponía el modelo eléctrico en el sector y empezó a comercializar sus propios modelos en el año 1904, lo cuales implementaban numerosas ventajas con respecto al modelo de Siemens, entre las que destaca el abandono de los sistemas de engranajes como sistema de tracción. Esto supuso una mayor velocidad de subida y, por lo tanto, una elevación del límite de altura máximo que podían abastecer los ascensores, permitiendo la futura construcción de rascacielos.

Actualmente se sigue utilizando el modelo de ascensor de Otis en la mayoría de edificios del mundo, el cual fue adquiriendo pequeñas mejoras para adaptarlo a los tiempos que corren. Sin embargo, el sistema de piñón cremallera no ha desaparecido del todo. El sector de la construcción lo emplea para elevar sus montacargas y plataformas de transporte debido a su alta resistencia y durabilidad, ya que al ser trabajos de exteriores los componentes de la máquina deben poder aguantar las inclemencias del tiempo y ser fácil su montaje y desmontaje.



Figura 1.4: Ascensor de obra

1.2. Objetivos

El fin del proyecto es el diseño y desarrollo de un **elevador híbrido entre plataforma de transporte y montacargas**. Se busca ofrecer una mayor versatilidad a la hora de hacer frente a diferentes problemas en el sector de la construcción, mejorando el comportamiento de la máquina y la seguridad de los operarios.

Para ello se han desarrollado una serie de módulos anexos al esqueleto principal de la máquina base que pueden acoplarse y desacoplarse fácilmente y con rapidez, permitiendo diferentes configuraciones y la posibilidad de intercambiarlos.

Para esta tarea se contará con un montacargas eléctrico que se elevará mediante un conjunto de piñón-cremallera a lo largo de un mástil de sección cuadrada, el cual soportará la carga gracias a unos arriostres anclados a la pared más cercana.

La principal diferencia entre un montacargas y una plataforma de transporte es que el primero solo se puede utilizar para el transporte de mercancía, aunque a una velocidad mayor, 24 m/s. Por otro lado, la plataforma de transporte tiene la capacidad de realizar trabajos de fachada y albañilería sin moverse del elevador a un andamio, pudiéndose desplazar a una velocidad de 12 m/s. Por ello **se busca** que, mediante la implementación de los módulos, **se pueda dotar a un montacargas de la versatilidad necesaria para funcionar como plataforma de transporte**, permitiendo el trabajo de los operarios desde dentro de la cabina y a la vez el transporte de mercancías en esta, simplificando considerablemente el trabajo.

Dado que el proyecto se basa en la elaboración de un montacargas y posteriormente de sus módulos anexos, se deben tener en cuenta las normativas de diseño, fabricación y posterior seguridad del elevador a la hora de realizar cada una de sus partes.

A parte del desarrollo del objetivo principal, se han tenido en cuenta los siguientes puntos:

- Marco en el que se desarrollan las actividades posibles del ascensor.
- Proceso de diseño y desarrollo de los componentes que compondrán la estructura final del elevador teniendo en cuenta las características técnicas del edificio que debe ser construido.
- Estudio y análisis de los sistemas motrices del elevador y de los componentes críticos del mismo siguiendo la normativa vigente.
- Establecer unos criterios de seguridad empleando las indicaciones de la normativa.
- Estudio de costes detallado para cada fase.

1.3. Estructura del documento

El documento está dividido en varios apartados que desglosan toda la información del proyecto siendo el primero el introductorio, explicando la evolución del marco histórico y los objetivos que desarrollará el documento. Posteriormente se tratan los datos actuales del sector de la elevación creando un marco lógico en el que se mueve el proyecto. Tras esto se desarrolla el cuerpo del documento, mostrándose la documentación y el desarrollo técnico necesario. En la parte final se encuentran las etapas de montaje de la máquina y el presupuesto adjunto a esta.

En resumen, este es el desglose de la estructura del documento:

- Introducción e historia del ascensor
- Estudio del marco socio-económico del sector de la elevación.
- Descripción de los distintos tipos de elevadores y sus elementos y mecanismos principales
- Diseño, descripción y desarrollo de los componentes del montacargas modular
- Estudio de oficina técnica, cálculos y resultados
- Sistema de seguridad para el diseño empleado
- Montaje y desmontaje del elevador
- Planificación del proyecto
- Presupuesto
- Conclusiones
- Propuestas de mejor para el futuro

2. Marco Teórico / Estado Del Arte

Gracias al invento de Elisha Graves Otis, la concepción que se tenía acerca de los edificios cambió por completo. Se empezó a mirar hacia arriba a la hora de construir, dejando atrás los grandes edificios de plantas bajas. Otro de los puntos fuertes de esta tecnología es una **larga vida útil**, mientras que otros medios de transporte como los coches o los aviones no superan en su mayoría los 20 años de vida, los ascensores tienen una vida útil prevista de 30 años en la mayoría de los casos, pudiéndose aumentar esta gracias a un mantenimiento adecuado.

En consecuencia, el sector de la elevación ha sido un pilar fundamental en el desarrollo de las ciudades ya que gracias a esos grandes edificios se ha podido aumentar significativamente la densidad de población y el aprovechamiento económico del suelo, favoreciendo la creación de grandes urbes y centros financieros e industriales. Siguiendo la línea del aprovechamiento económico posteriormente empezaron a surgir los denominados “**rascacielos**”. Estos grandísimos edificios tienen por objetivo, además de maximizar el aprovechamiento económico del suelo, reducir costes derivados del transporte, ya que la aglomeración de edificios altos favorece la utilización de medios de transporte público al haber reducido la distancia en la que se ejerce una actividad (ya sea financiera, industrial, etc..) lo que supone una reducción de la contaminación atmosférica. Por ende, los rascacielos se fundamentan en el transporte vertical al aglomerar toda su actividad en un mismo edificio, haciendo fundamental el uso de escaleras mecánicas y sobre todo de ascensores para recorrerlo.



Figura 2.1: Vista desde el ascensor de un rascacielos

En la actualidad, habiendo desarrollado gran parte de la técnica, el objetivo del sector pasa por **mejorar las instalaciones y la comodidad de los ocupantes** a la hora de coger un ascensor y durante el trayecto de este.

Paralelamente a este objetivo, también se trata de mejorar los equipos para **aumentar la exigencia** a la que se les pueda someter, la rapidez con la que pueden desplazarse y el consumo de los motores (actualmente se estima que el gasto de un ascensor convencional de dos velocidades es de 700 Kwh). Además, estos avances cada vez tienen más presente algunos

sectores de la población más olvidados en estos ámbitos, como son las personas con movilidad reducida o que tengan algún trastorno físico-motriz, las personas mayores y los niños.

Actualmente en Europa funcionan alrededor de 5.85 millones de ascensores para una población de 743.1 millones de personas lo que supone una media de 1 ascensor por cada 127 personas. Este dato es a tener en cuenta ya que solamente el parque de ascensores de España cuenta con 921.000 ascensores, lo que supone un 15.75% del total de ascensores del continente. Por ello este sector se encuentra entre los más valorados de nuestro país.

De cerca le siguen otros países como son Italia con 880.530 ascensores, Alemania con 667.000 ascensores y Francia con cerca de 532.200 ascensores. Solo la suma de estos 4 países es poco más de la mitad del parque europeo de ascensores. En el siguiente gráfico se muestran los porcentajes del número de ascensores de Europa en cada país mencionado:

Porcentaje de ascensores UE 2017

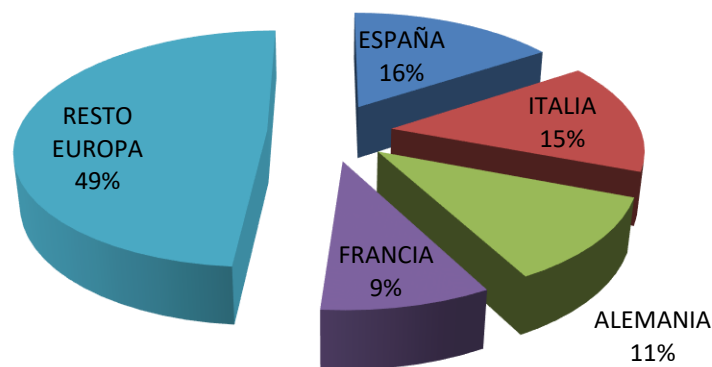


Figura 2.2: Porcentaje de ascensores de la UE

No solo en Europa es referencia España en número de ascensores, otras potencias mundiales como EEUU y Japón también tienen una menor densidad de ascensores con respecto a su población, en el siguiente gráfico se muestra una comparativa de cantidad de ascensores cada 1000 personas en diversos países del globo ^[3]:

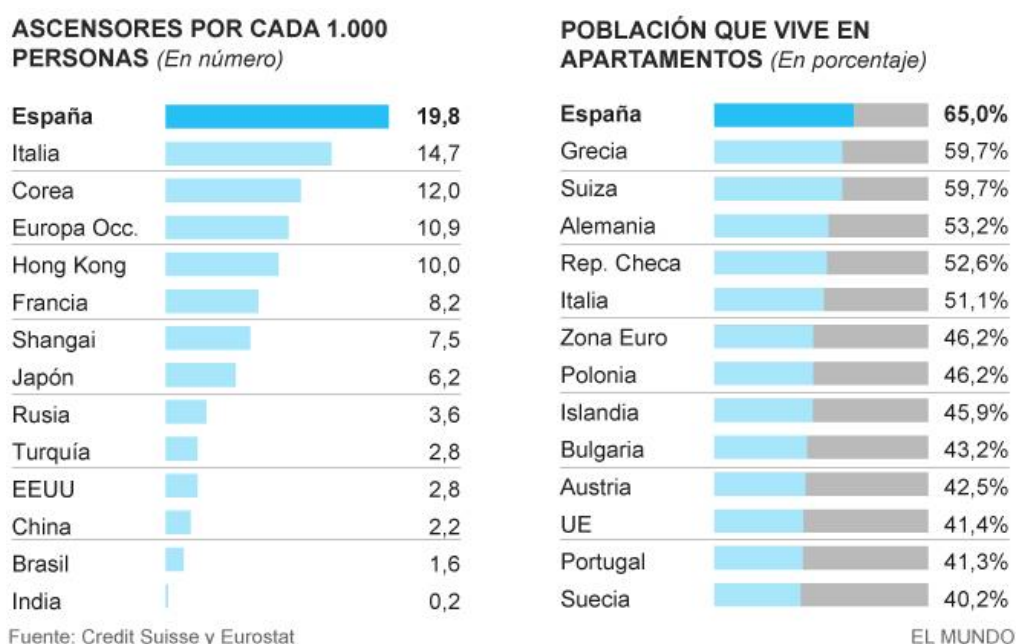


Figura 2.3: Estadísticas de ascensores

Como podemos observar, España sigue en cabeza en lo que a **densidad de ascensores** respecta. Esto se debe en gran medida a la migración de la población rural a las grandes urbes, incrementando el número de la población que vive en apartamentos, hasta colocarnos líderes en el ranking europeo como puede observarse en el gráfico.

Sin embargo, cerca de 500.000 ascensores del parque español tienen más de 20 años de antigüedad, por lo que necesitan un mayor mantenimiento y actualización de la flota. Esta antigüedad termina repercutiendo en la cantidad de siniestros que se producen a lo largo del año porque, aunque el ascensor es el medio de transporte con menos siniestralidad, a día de hoy se siguen padeciendo problemas como muestra el siguiente gráfico ^[5]:



Figura 2.4: Datos de accidentes consolidados a nivel nacional 2014. FEEDA

Los **accidentes** producidos por las cabinas están ampliamente repartidos, siendo el más habitual el accidente por nivelación deficiente, el cual se produce cuando al parar el ascensor la puerta de planta y la del mismo no encajan dejando un escalón entre ellas. En total, de los 126 accidentes relacionados con los ascensores y elevadores registrados, 106 fueron leves y 20 se consideraron graves ^[4].

A pesar de la poca accidentalidad, la UE lanzó una nueva directiva de obligado cumplimiento, la 2014/33/UE en abril de 2016 para redoblar las condiciones de seguridad de los ascensores nuevos y obligar a los antiguos a renovarse. Además, se prevé que en septiembre de 2017 se impondrán dos nuevas normas técnicas de obligado cumplimiento para ascensores de obra nueva: la UNE-EN 81-20 y la UNE-EN 81-50. Este nuevo marco normativo, junto con la entrada en vigor en 2016 de la nueva Directiva de máquinas, supone el **cambio más brusco e importante del sector de la elevación en los últimos 20 años**.

En 2009, el sector sufrió un gran bajón debido a la **crisis económica** que se estaba viviendo. Hasta ese momento la presencia de la industria de elevación en Europa era líder en el mundo con un 30% de las nuevas instalaciones, un 44% del mantenimiento y un 74% de las reparaciones y modernizaciones del sector. La crisis provocó un descenso del número de ascensores nuevos instalados, por lo que el sector se tuvo que reinventar para afrontar esta disminución en las oportunidades laborales.

En Europa se buscaron dos nuevos enfoques para seguir siendo líderes mundiales en el sector:

- Desarrollar un marco tecnológico orientado a la reducción del impacto medioambiental y el aumento de la accesibilidad en los aparatos para personas con movilidad reducida.
- Aumentar la competitividad y productividad mediante la modernización del parque de ascensores instalado.

Actualmente, el sector de la elevación en Europa está constituido por cerca de 2.000 empresas y da trabajo a más de 140.000 personas. En España concretamente trabajan alrededor de 30.000 de esos trabajadores. El sector se encuentra en un periodo de **recuperación económica** debido al crecimiento de la demanda de ascensores para obra nueva. Demanda de la cual, España es líder indiscutible en contratación de trabajadores y distribución de ascensores.

3. Descripción y tipos de elevadores

El elevador es un sistema de tracción vertical diseñado para transportar carga, personas o ambas a la vez entre los diferentes pisos de un edificio o estructura.

El sector de la elevación está compuesto de numerosos tipos de ascensores, sin embargo, se pueden diferenciar dos grandes grupos en función de su **régimen de funcionamiento**: el elevador hidráulico y el elevador electromecánico.

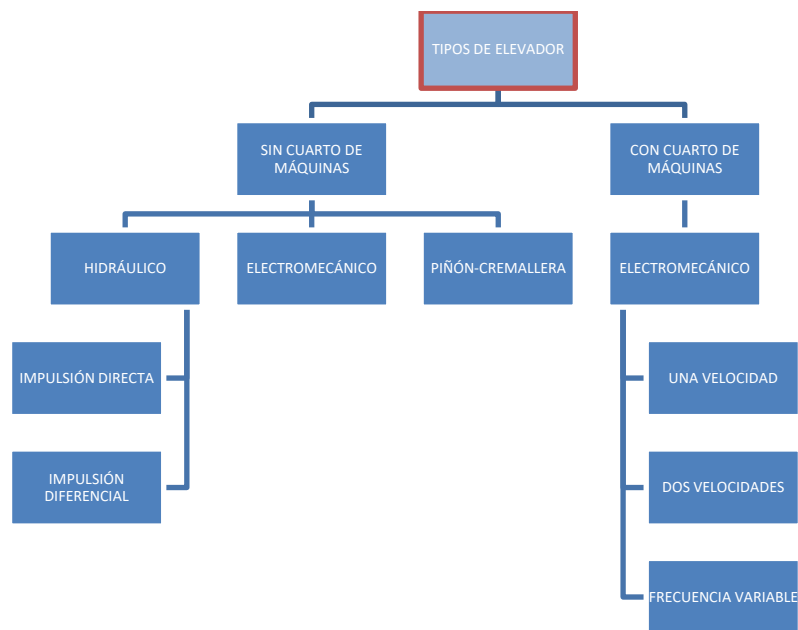


Figura 3.1: Organigrama de los tipos de elevador

3.1. Elevador Hidráulico

La gran diferencia entre los dos tipos de ascensores mencionados es el mecanismo de accionamiento. En un ascensor hidráulico, el **accionamiento** se produce gracias a una bomba sumergida en un depósito de aceite y un motor eléctrico, al cual se acopla esta última.

Para **elevantar** la cabina se inyecta el aceite a presión desde el depósito hasta el pistón a través de un conjunto de válvulas, las cuales permiten variar o corregir la velocidad de desplazamiento del elevador. Este pistón está formado por un cilindro y un émbolo, el cual sostiene la cabina.

Para el **descenso** se deja caer la cabina mediante la acción de la gravedad, devolviendo el aceite al depósito. La velocidad de descenso se regula gracias al conjunto de válvulas.

Hasta hace 10-15 años, este tipo de elevador era menos ruidoso con respecto al de tracción eléctrica, sin embargo, se necesitaba mucha más potencia para utilizarlo. Con la aparición de los **variadores de frecuencia** esto cambió, igualando las funcionalidades y

rendimientos de ambos tipos. El variador de frecuencia es un elemento que se instala al lado del motor y que supone las siguientes ventajas:

- Optimización de la velocidad del elevador según las necesidades reales.
- Incremento de la eficiencia del motor, alargando su vida útil.
- Reducción del sonido acústico.
- Arranques y paradas más suaves.

3.1.1. Tipos de elevadores hidráulicos

A su vez, los elevadores hidráulicos se dividen en dos grupos, en función de los métodos de impulsión (tracción) ^[10]:

- **Elevador hidráulico de impulsión directa.** También llamado de tracción directa 1:1. Esto significa que por cada centímetro que se desplace el pistón, se desplazará la cabina la misma distancia. Son recomendables para elevar una gran carga en pequeñas alturas (Si el recorrido es de 4 metros no llega a necesitar ni foso). Al no contar con cables de acero no es necesario un paracaídas como sistema de seguridad, se suple con una válvula de regulado de caudal, la cual cierra el paso de aceite si prevé una rotura del circuito hidráulico.
- **Elevador hidráulico de impulsión diferencial.** También llamado de tracción indirecta 1:2. Esto significa que por cada centímetro que se desplace el pistón, se desplazará la cabina el doble. Esto es posible gracias a un sistema de poleas y cables y tiene como objetivo aumentar el recorrido con respecto al de tracción directa. No hace falta la instalación de un foso profundo ya que el pistón se instala en un lateral del hueco en vez de abajo.

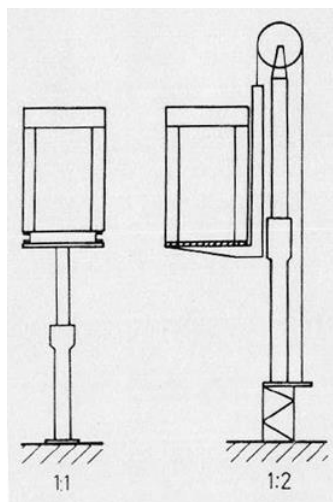


Figura 3.2: Impulsión directa y diferencial

A pesar de las mejoras añadidas con el paso del tiempo y del variador de frecuencia, el ascensor hidráulico continúa precisando de más potencia ya que a más altura elevada más potencia es necesaria. Por ello **este tipo de elevación se prioriza para edificios o estructuras de baja altura.**

3.1.2. Elementos del sistema hidráulico

Básicamente, el elevador hidráulico está compuesto por un conjunto motor, el conjunto del cilindro-pistón y un circuito de tuberías. Con ayuda de la siguiente figura se va a proceder a explicar cada uno de los elementos del sistema hidráulico ^[11]:

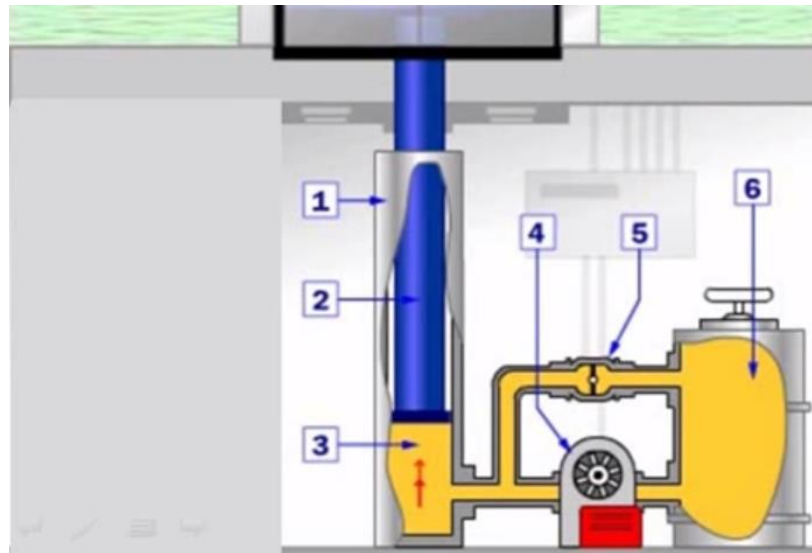


Figura 3.3: Elementos del sistema hidráulico

- 1) **Cilindro.** Es el elemento que ejerce de “camisa” del pistón, protegiéndolo de agentes externos y aumentando el tiempo de vida del lubricante.
- 2) **Pistón.** Es el elemento encargado de convertir la presión ejercida por el aceite en el circuito del sistema hidráulico en el movimiento vertical de ascenso o descenso.
- 3) **Depósito de fluido.** Este depósito almacena el aceite presurizado después de su paso por las válvulas y la electrobomba. Este aceite presurizado es el que pasa por el pistón para generar la fuerza de subida y el que regula la velocidad de descenso del elevador.
- 4) **Bomba de presión (electrobomba).** Está accionada por un motor eléctrico y se encarga de aumentar la presión al aceite del depósito hidráulico para elevar el pistón. Cuando el elevador desciende, la bomba se encarga de abrir el canal de alta presión y devolver el aceite al depósito hidráulico.
- 5) **Válvulas / distribuidores de presión.** Son las encargadas de regular la aceleración y deceleración del pistón. Cuando están cerradas la presión del aceite sube mucho gracias a la electrobomba y cuando se abren reducen esa presión.
- 6) **Depósito hidráulico.** Almacena el aceite sin comprimir en reposo. El volumen del depósito varía en función del aceite necesario dentro del circuito para mover el elevador.

3.1.3. Ventajas y desventajas

A continuación, se muestra una tabla con las ventajas y desventajas que supone la instalación de un elevador hidráulico:

Ventajas	Desventajas
Eleva grandes cargas	Recomendado para estructuras de baja altura (máximo de 25 metros)
No necesita un sistema de seguridad (paracaídas) gracias a su regulado de caudal	Necesita una potencia elevada (alto consumo energético)
Eficiencia en el uso del espacio para su instalación (no necesita contrapeso)	La bomba soporta la mayor parte de la carga de la instalación, provocando fallos si no se regula bien la presión del circuito
Funcionamiento más suave que los elevadores eléctricos	

Tabla 3.1: Ventajas y desventajas del elevador hidráulico

3.2. Elevador Electromecánico

En cuanto al elevador electromecánico o eléctrico, es el **mecanismo más utilizado**. Pueden ir equipados con motores con o sin engranajes y desplazarse a una velocidad máxima de 2,5 m/s. Su principal diferencia con respecto al hidráulico es su sistema de accionamiento. Este tipo de elevador puede funcionar en dos variantes: mediante un sistema de poleas y contrapesos (ascensor convencional actual) o mediante un sistema piñón-cremallera (elevador de obra).

Hasta hace unos años, cuando llegó el variador de frecuencia, el elevador eléctrico estaba mucho más enfocado a edificios de mucha altura y con un tráfico de usuarios muy elevado debido a que no necesitaba una gran potencia para elevarse y las arrancadas y frenadas eran más suaves.

Con la llegada del **variador de frecuencia** se estandarizó. Este elemento, al igual que en el caso hidráulico, se instala cerca del motor o motorreductor y supuso las siguientes ventajas:

- Mejoró el comportamiento en las arrancadas y frenadas.
- Optimizó la eficiencia del motor, admitiendo más carga.
- Redujo la temperatura del lubricante, al no tener que estar el motor operando siempre a máxima potencia.

3.2.1. Tipos de elevadores eléctricos

Los elevadores eléctricos están muy diversificados, pero se pueden diferenciar en dos grandes grupos: **Con cuarto de máquinas y sin cuarto de máquinas**. Además, ambos grupos se dividen en función de la velocidad de desplazamiento ^[9]:

- **Elevadores de una velocidad.** Estos elevadores son los más numerosos, ya que son los que se instalaron hasta la década de los noventa, que dejaron de fabricarse. Se detienen completamente en la parada deseada y se mueve a una velocidad lenta, además de parar y arrancar bruscamente al no disponer de un variador de frecuencia.
- **Elevadores de doble velocidad.** Actualmente son los más comercializados ya que son los más económicos en cuanto a energía se refiere. Antes de llegar a la parada baja a una velocidad para evitar los tirones bruscos y en la arrancada empieza a baja velocidad para aumentarla después a la velocidad alta al poco tiempo y evitar el tirón de subida.
- **Elevadores de velocidad variable.** Este tipo está provisto de un variador de frecuencia, el cual le aporta un arranque y parada suaves y unas velocidades de funcionamiento altas al aumentar la eficiencia del motor. Está indicado para edificios donde se tiene una alta afluencia de usuarios y corresponde a la gama media-alta.

3.2.1.1. *Elevadores eléctricos con cuarto de máquinas*

Se puede encontrar el cuarto de máquinas en **dos posiciones**, o encima del hueco del ascensor, o debajo de este. Las diferencias entre las posiciones del cuarto de máquinas son:

- En la zona superior es más fácil aislar el ruido y vibraciones producidos por la instalación.
- Fácil ventilación del hueco y del cuarto de máquinas si se instala en la parte superior.
- Instalación más sencilla en la zona superior.
- Se debe tener en cuenta al ahora de construir el edificio que se debe dejar una sala o casetón encima del hueco del ascensor para albergar el cuarto de máquinas si se quiere esa disposición.

Además, los elevadores que tienen cuarto de máquinas tienen un mayor rendimiento y unas dimensiones reducidas del hueco del ascensor con respecto a los que no tienen.

3.2.1.2. *Elevadores eléctricos sin cuarto de máquinas*

Este tipo de elevadores tienen como principal ventaja **ahorrar el espacio** superior o inferior del cuarto de máquinas por lo que la fase de diseño del hueco del ascensor es muy simple.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
No tiene sala de máquinas (rentabiliza el espacio)	Maquinaria dentro del hueco del ascensor (Mayor sensación de vibraciones y ruido)
Simplifica la implantación de un elevador en la fase de proyecto	Necesita mayor hueco de ascensor para su instalación
Es más fácil de instalar en edificios que no estaban provistos de elevador	Mayor coste de instalación

Tabla 3.2: Ventajas y desventajas del elevador eléctrico sin cuarto de máquinas

3.2.2. Elementos del sistema electromecánico

Básicamente, el elevador electromecánico está compuesto por el conjunto de tracción, el conjunto de elevación, la instalación fija y el cuadro de control de maniobra. Con ayuda de la siguiente figura se va a proceder a explicar cada uno de los elementos del sistema hidráulico:

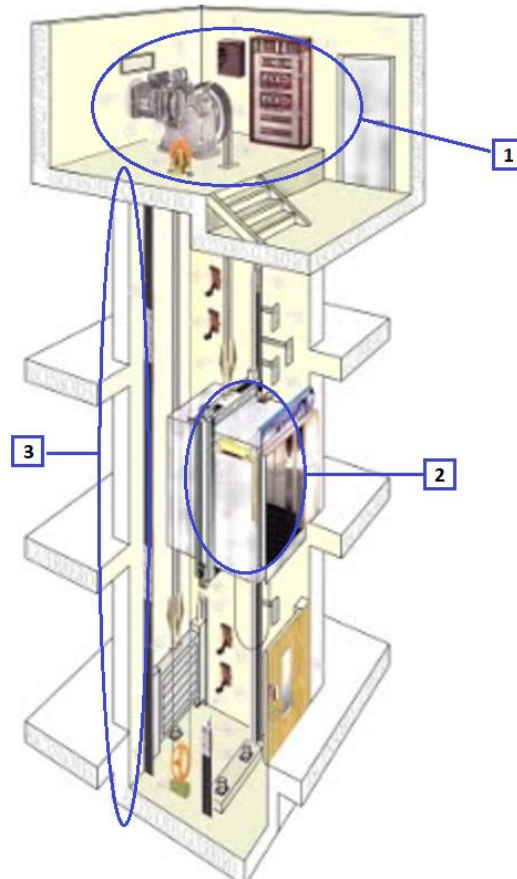


Figura 3.4: Elementos del elevador hidráulico

- 1) **Conjunto de tracción.** Este conjunto se compone por los elementos encargados del movimiento del elevador. Está conformado por:
 - **Motor:** es el encargado de suministrar la potencia que mueve el elevador a la velocidad deseada.
 - **Freno:** a través de las zapatas, frena el elevador cuando se corta la corriente.
 - **Polea:** transmite la tracción por adherencia a través de los cables. Es un elemento crítico ya que soporta la carga de la estructura.
 - **Reductor:** transforma la elevada velocidad de rotación del motor en el par necesario para mover el elevador.

- 2) **Conjunto de elevación.** Este conjunto se compone de los elementos que se desplazan a lo largo del hueco. Está conformado por:
 - **Cabina:** es el habitáculo donde se transportan las personas o la carga. En el caso de transportar personas debe tener una adecuada ventilación e iluminación. Está compuesta del bastidor, el cual es la base que soporta el peso del elevador, y la caja, que es el chasis del habitáculo.
 - **Contrapeso:** el contrapeso es un componente que equilibra el peso de la cabina, reduciendo la carga nominal soportada y permitiendo liberar de carga a los motores.
 - **Cables:** estos alambres de acero son los elementos que soportan los esfuerzos de la cabina.
 - **Sistema de seguridad:** El elevador electromecánico emplea un **paracaídas**. Este dispositivo se acciona cuando el elevador alcanza una velocidad por encima de la establecida y lo detiene para prevenir la rotura.

- 3) **Instalación fija.** Es la parte del elevador que no se mueve ni realiza ninguna acción activamente. Está conformado por:
 - **Hueco:** El hueco es el espacio donde el elevador y el contrapeso se mueven.
 - **Cuarto de máquinas:** Es el habitáculo donde se encuentran el conjunto de tracción y el cuadro de control de maniobra. Se sitúa encima o debajo del hueco del ascensor
 - **Guías:** Son unos elementos que se anclan a las paredes del hueco y dirigen el recorrido del ascensor y el contrapeso.
 - **Amortiguadores:** Se sitúan en el foso y son un elemento pasivo de seguridad. En caso de que falle el paracaídas, son los encargados de detener al elevador.
 - **Foso:** El foso es la zona del hueco que se encuentra por debajo del nivel de la planta más baja. En él se encuentran los amortiguadores.

- 4) **Cuadro de control de maniobra.** Es el cerebro del elevador, contiene todos los dispositivos de control del elevador y solo puede ser utilizado por los empleados de la empresa fabricante.

3.2.3. Elevador eléctrico de piñón-cremallera

Este tipo de elevador se podría clasificar fuera del grupo de los elevadores eléctricos como un tipo de elevador a parte por las diferencias en su estructura. Sin embargo, se explicará en este apartado para conservar la relación con el sistema de propulsión.

Se puede enmarcar como un **elevador eléctrico sin cuarto de máquinas**, ya que el grupo motor está instalado junto a la cesta. Esta variante se desplaza a lo largo mástiles arriostrados a la fachada o hueco por el que se pretende elevar carga o personas.

Los elevadores de piñón-cremallera son usados generalmente en el sector de la construcción debido a su fácil montaje y desmontaje y a la solidez de sus componentes. Debido a las necesidades en el sector, existen tres variantes del piñón-cremallera:

- **Montacargas.** Enfocado en el transporte de carga y mercancías. Sin embargo, se puede utilizar para transportar personas si se cumplen si se toman medidas de seguridad según la normativa.
- **Plataforma de transporte.** Se usa para transporte de personas y carga y para realizar trabajos en fachada. Se emplea para evitar la instalación de andamios en la fachada, ya que a partir de cierta altura se vuelve inviable la instalación de andamios.
- **Ascensor.** Su uso está enfocado en el transporte de personas, por ello sigue unas rigurosas medidas de seguridad según la normativa.



Figura 3.5: Montacargas/Plataforma de transporte/Elevador

Como se puede ver en las figuras, los elevadores de piñón-cremallera siguen la misma estructura de montaje:

- **Base.** La base es el elemento que aporta estabilidad al conjunto del elevador. A ella va amarrada la columna o columnas de mástil por donde asciende el elevador. Alrededor tiene un perímetro formado por el recinto base para evitar el paso de personas por el área de funcionamiento del elevador.
- **Mástil.** El mástil es un elemento estructural de acero que se ensambla en tramos de metro a metro y medio y al que va unida la cremallera. El mástil, además de estar unido a la base, se encuentra anclado a la pared o fachada mediante unos arriostres para afianzar la estructura.

- **Grupo motor.** Este conjunto está formado por los motores y sus correspondientes piñones y los conjuntos de rodillos que deslizan a lo largo del mástil. El grupo motor va amarrado a la cabina y normalmente engrana por encima del paracaídas de seguridad. El engrane se produce entre los piñones de los motores y la cremallera del mástil.
- **Cesta o plataforma.** Es el habitáculo donde se sitúan las mercancías o las personas que se pretenden elevar. Sigue unas normas de seguridad muy exigentes en el caso de que transporte personas.

A continuación, se muestra en una tabla con las ventajas y desventajas de este tipo de elevador electromecánico frente al resto de elevadores.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
El montaje se realiza sin cuarto de máquinas	Ruido elevado con respecto al resto de elevadores eléctricos
Puede montarse en el exterior de un edificio	Necesario un espacio más grande que la envergadura del ascensor para instalar la base y su recinto
Montaje sencillo y rápido	Menor confort que el resto de elevadores
Puede instalarse fuera o dentro de un hueco de ascensor	Precisa de un variador de frecuencia para altas velocidades
Puede utilizarse sin estar la estructura completamente montada	

Tabla 3.3: Ventajas y desventajas del elevador de piñón-cremallera

4. Elevador: Selección, descripción y diseño del elevador mecánico a diseñar

En este apartado se va a realizar la fase de diseño del elevador. Esta fase está compuesta de los siguientes puntos:

- Planteamiento del problema de la empresa contratante
- Selección y descripción del elevador que satisfaga las demandas de la empresa
- Diseño del elevador mediante la herramienta de diseño 3D **SolidWorks**

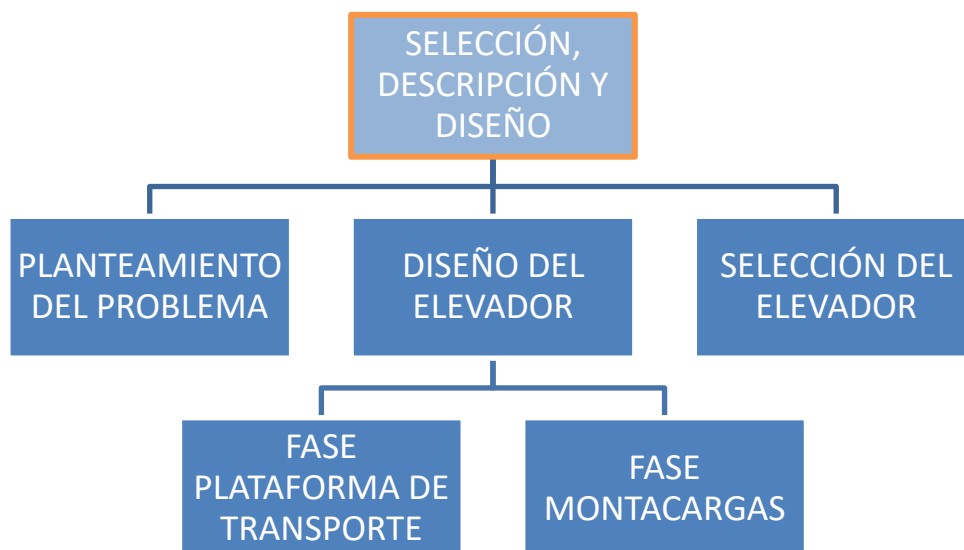


Figura 4.1: Organigrama: planteamiento, selección y diseño

4.1. Planteamiento del problema

Debido al incremento de la demanda de hoteles de lujo en los países árabes, la constructora ha decidido iniciar una obra de mejora en uno de los hoteles de la costa dubaití. El hotel es un edificio de 192 metros de altura y 48 plantas situado a 200 metros de la costa.

El proyecto consta de **dos fases de construcción**: en la primera se realiza un añadido de 8 metros a la estructura original, dejando la altura final del edificio en 200 metros, y la segunda es la creación de 2 plantas más en esa altura añadida además de un trabajo de fachada posterior para labores eléctricas y de fontanería.

La constructora solicita **3 montacargas** para el transporte de carga en la fase inicial del proyecto y abastecer la zona en la que se trabajará y **3 plataformas de transporte** para ayudar al posterior trabajo en fachada. Tanto el elevador como la plataforma de transporte deberán tener una velocidad vertical mínima de **7 m/min** y deberán soportar una carga máxima de **1500 kilogramos** en ambas fases.

Para ello se ha propuesto una máquina con la capacidad de realizar ambas tareas gracias a su desarrollo modular.

Para finalizar el apartado, en la siguiente tabla resumen se muestra un desglose de los datos del proyecto:

	FASES	FASE 1	FASE 2
DATOS			
Situación geográfica	Dubái		
Velocidad máxima		24 m/min	12 m/min
Carga Nominal	1500 kg		
Altura del edificio		192 m	200 m
Plantas del edificio		48	50

Tabla 4.1: Especificaciones generales de la propuesta

4.2. Selección y descripción del elevador

Una vez planteado el problema se debe presentar el elevador propuesto y las razones que le hacen un sistema idóneo para acometer la obra. Se describirán las características del aparato y su desempeño.

El elevador propuesto utiliza un chasis estándar de un montacargas electromecánico con ciertas variaciones para alojar los módulos y accesorios que le dan esa versatilidad que le caracteriza.

El trabajo se realizará en fachada sin hueco de ascensor debido a que el hotel durante el desarrollo de la obra estará utilizándose, por ello se necesita un elevador cuyo montaje y desmontaje sea sencillo y a la vez sea robusto para resistir las labores a realizar. Por estas razones se ha elegido un **elevador eléctrico de piñón cremallera**.

El montacargas diseñado es un aparato de elevación que se eleva mediante un mecanismo de piñón cremallera y gracias al par transmitido por dos moto-reductores idénticos ensamblados en el cuadro motor ^[8]. Estos moto-reductores permiten al montacargas desplazarse en **dos variantes**: la primera en la fase montacargas a una velocidad vertical de hasta 24 m/min según normativa para elevarse hasta los 200 metros de altura máxima y soportar una carga máxima de 2000 Kg, y la segunda en la fase plataforma de transporte a una velocidad vertical de hasta 12 m/s según normativa para elevarse hasta los 200 metros de altura y soportar una carga máxima de 1500 Kg.

La máquina modular propuesta presenta numerosas ventajas frente a los elevadores convencionales (andamios de obra y montacargas).

- Respecto al andamio convencional de obra:
 - **Facilidad de montaje.** El andamio convencional está regulado por normativa a tener anclajes cada 20 metros de altura, de otra manera se descentraría el centro de gravedad de la estructura, volviéndola inestable y poco segura para el



desempeño de cualquier labor. Por otro lado, solo requieren trabajo de fachada en los últimos 6 metros del edificio, volviéndose un derroche de recursos y tiempo elevar una estructura de andamios, los cuales tienen unas medidas estandarizadas, hasta la altura en la que se realiza el trabajo. En cambio, el elevador propuesto solo requiere elevar un mástil hasta la altura necesaria y arriostrarlo a la pared.

- **Facilidad de uso.** El uso de un montacargas o una plataforma de transporte en lugar de un andamio convencional de obra supone una ventaja mayúscula para los trabajadores que realicen labores de fachada en el edificio, reduce su fatiga física al no tener que desplazarse entre los numerosos pisos del edificio.
- **Reducción de tareas.** A la hora de transportar mercancías, reduce el tiempo de desplazamiento de estas debido a que no se tienen que utilizar poleas ni grúas, utilizando simplemente el elevador para este fin con un operario a cargo, reduciendo también el número de operarios a cargo de la tarea.
- **Facilidad de montaje.** A la hora de realizar el montaje y desmontaje de la instalación, se tarda considerablemente más en realizarlo en un andamio de obra convencional que en un montacargas.
- Respecto a un montacargas estándar:
 - **Mayor versatilidad y protagonismo en las labores de obra.** Además de trabajar como un dispositivo para el transporte de mercancías, tiene la capacidad de convertirse en plataforma de transporte, reduciendo su velocidad y permitiendo el transporte de personal y la posibilidad de trabajar desde el mismo elevador.
 - **Ahorro de tiempo.** Un montacargas es una maquina cuya única finalidad es el transporte de mercancías, lo cual le confiere un papel secundario en las labores de obra al no poder trabajar desde él. En cambio, este montacargas modular permite trabajar desde su interior y transportar personal y mercancías, reduciendo considerablemente el tiempo de traslados y de trabajo y simplificando las labores en la obra.
 - **Ahorro de costes.** La intercambiabilidad de los componentes ofrece la máxima versatilidad de uso y reduce las inversiones.

4.3. Diseño del elevador: Fase montacargas

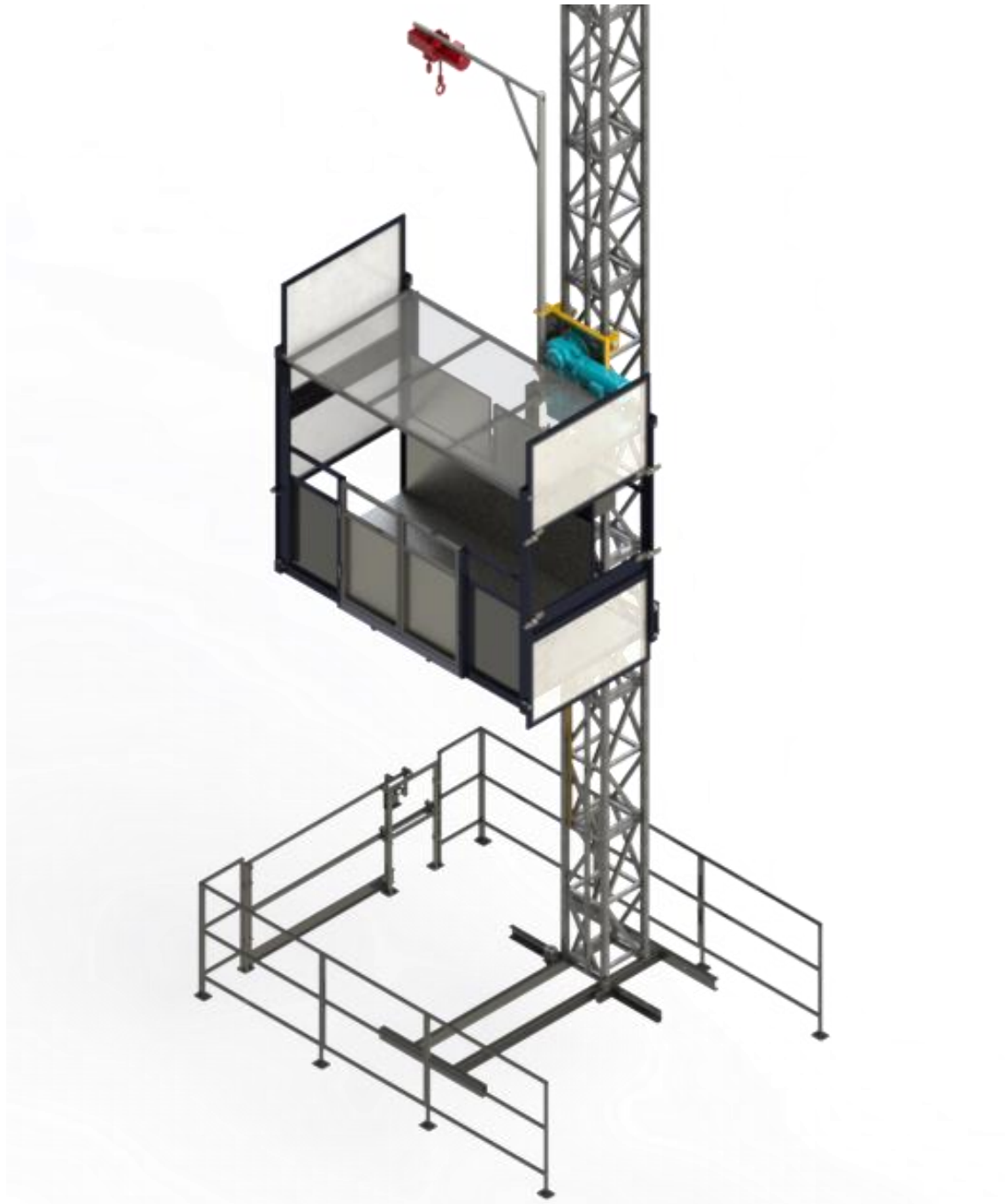


Figura 4.2: Montacargas base

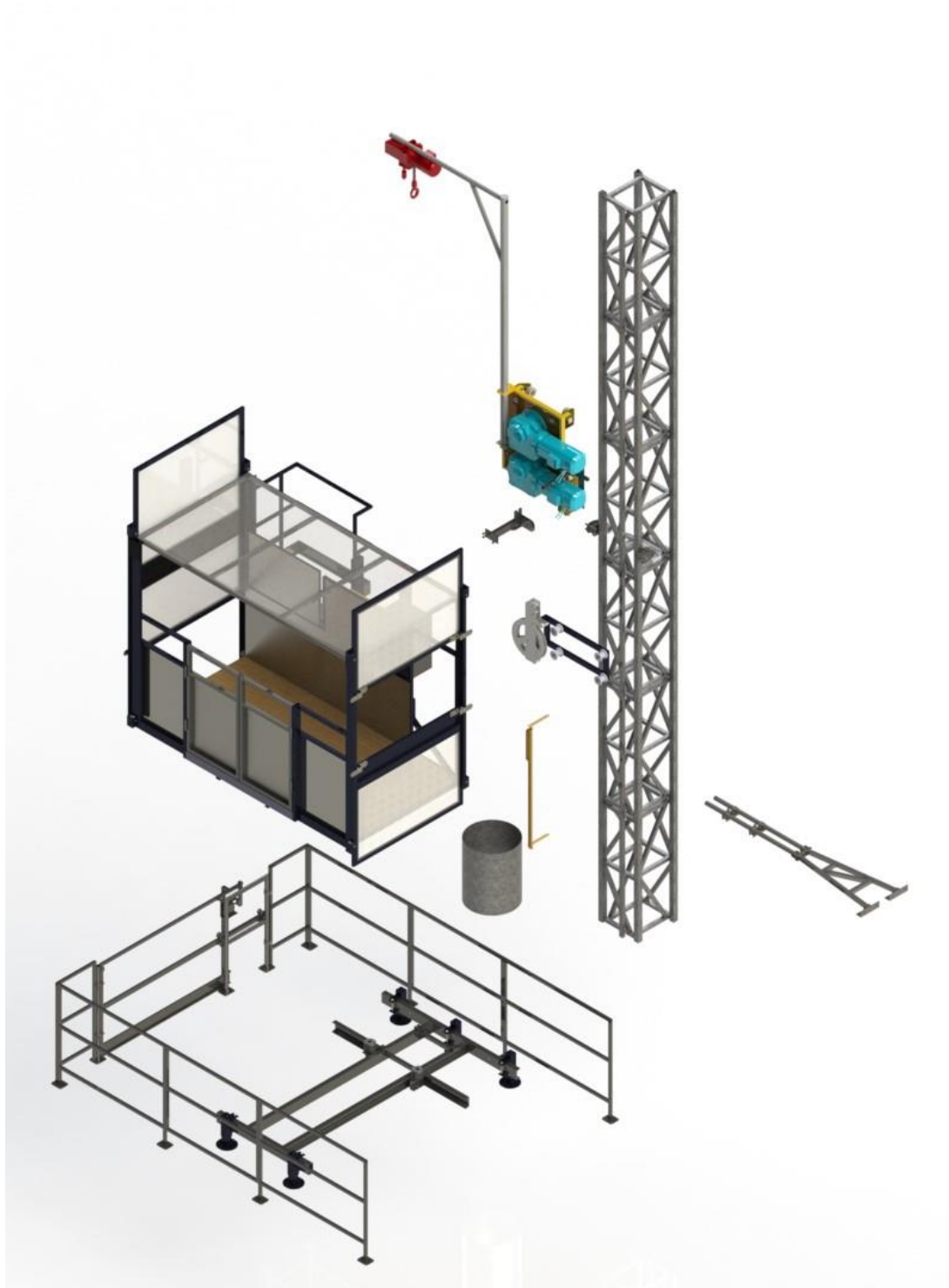


Figura 4.3: Fase explosionada

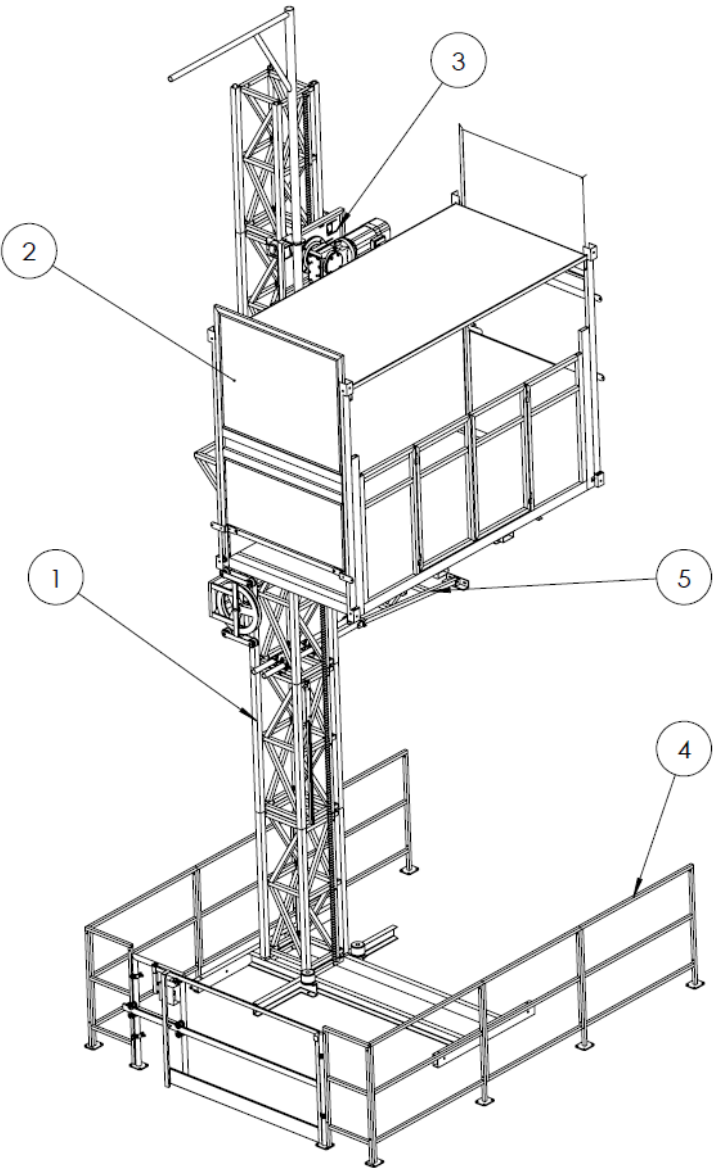


Figura 4.4: Montacargas globos

NÚMERO DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	PAGINA
1	MASTIL	
2	CABINA / CHASIS	
3	GRUPO MOTOR	
4	RECINTO BASE	
5	ARRIOSTRE	

Tabla 4.2: Elementos del montacargas

4.3.1. Recinto base

El recinto base es un conjunto de seguridad, su objetivo es delimitar la zona donde el elevador opera para evitar riesgos a los operarios que pasen cerca. Está compuesto de vallas de tubos cuadrados 40x40x4 mm y una puerta corredera con cierre electromagnético. Sus dimensiones totales son de 4492x3569x1228 mm.

Cerca de la puerta se encuentra el mando de control remoto del elevador, cuya función es la de manejar el elevador en fase montacargas o en caso de emergencia.

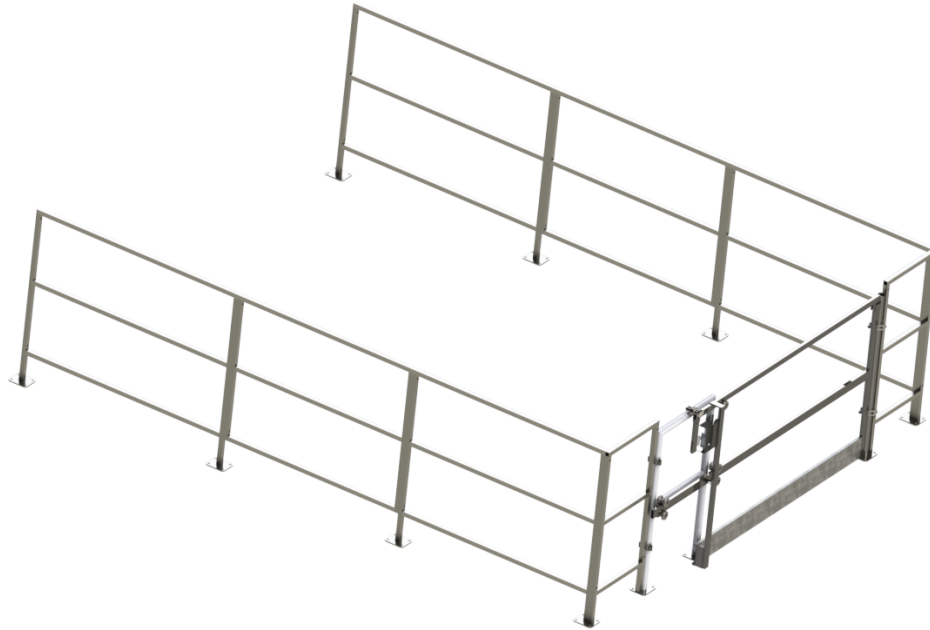


Figura 4.5: Recinto base

4.3.2. Mástil

El mástil es un elemento estructural compuesto por elementos modulares de 1483 mm de altura. La estructura del mástil se ensambla mediante la superposición de las diferentes secciones verticales unidas cada una con la siguiente gracias a 4 tornillos de acero de alta resistencia. El método de ensamble asegura la correcta unión desmontable de las diferentes secciones por la unión mediante arandelas planas y tuercas.

Los tornillos utilizados son DIN 931 de calidad 8.8 M20x150mm y el par de apriete de cada uno de los tornillos es de 300 Nm.

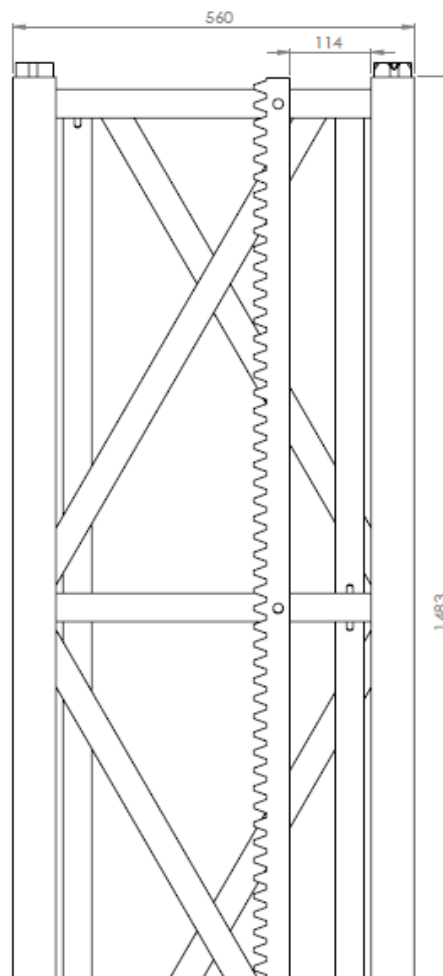


Figura 4.6: Mástil acotado

El mástil está compuesto por dos componentes principales:

- **Cuerpo/Estructura.** El cuerpo del mástil es una estructura cuadrada compuesta por cuatro vigas cuadrangulares de 40x40x3mm unidas mediante tubos cuadrados de 30x30x2mm a modo de celosía para garantizar la estabilidad estructural. Todos los elementos del mástil poseen taladros pasantes para facilitar el desalojo de líquido en caso de inclemencias climatológicas.
- **Cremallera.** Este elemento es el que habilita el ascenso vertical de la cabina del elevador mediante el engrane con los piñones del grupo motor. Se suelda al mástil en los puntos de soldadura preparados para ello. Este elevador cuenta con una cremallera de módulo 6 siguiendo la normativa vigente. La norma UNE-EN 12159 señala que para trabajos donde el accionamiento se desarrolle mediante un engrane director entre un rodillo o piñón con una cremallera se debe utilizar una cremallera de módulo 6 o superior.

Esta normativa también nos indica que, para favorecer el correcto funcionamiento de la estructura, los materiales con los que se fabrican piñón y cremallera deben ser similares para garantizar un mismo desgaste a lo largo de la vida útil de los

componentes. Además, para aumentar la resistencia a corrosión y desgaste, todos los módulos son tratados mediante galvanizado. La máquina que realiza este proceso no puede alojar elementos de dimensiones demasiado grandes, por ello la longitud de cada módulo de mástil utilizado es de 1483mm.

Además, se debe utilizar un coeficiente de seguridad de 2 para el límite elástico de resistencia del diente.

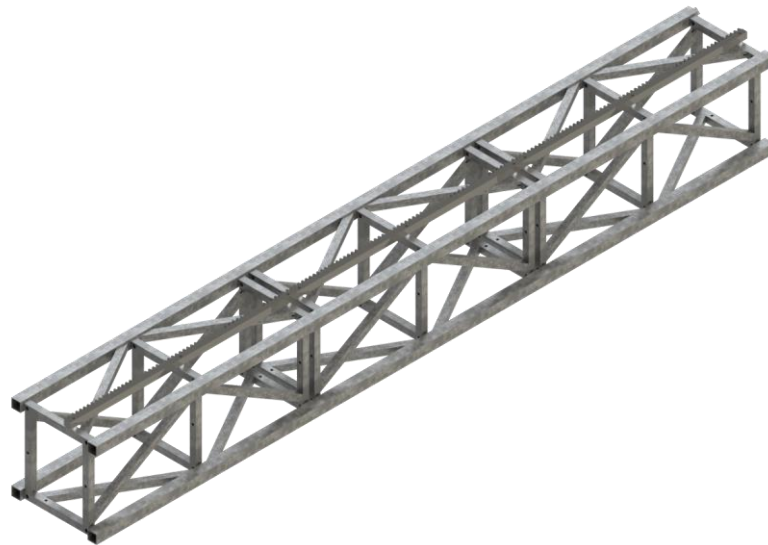


Figura 4.7: Módulo de mástil

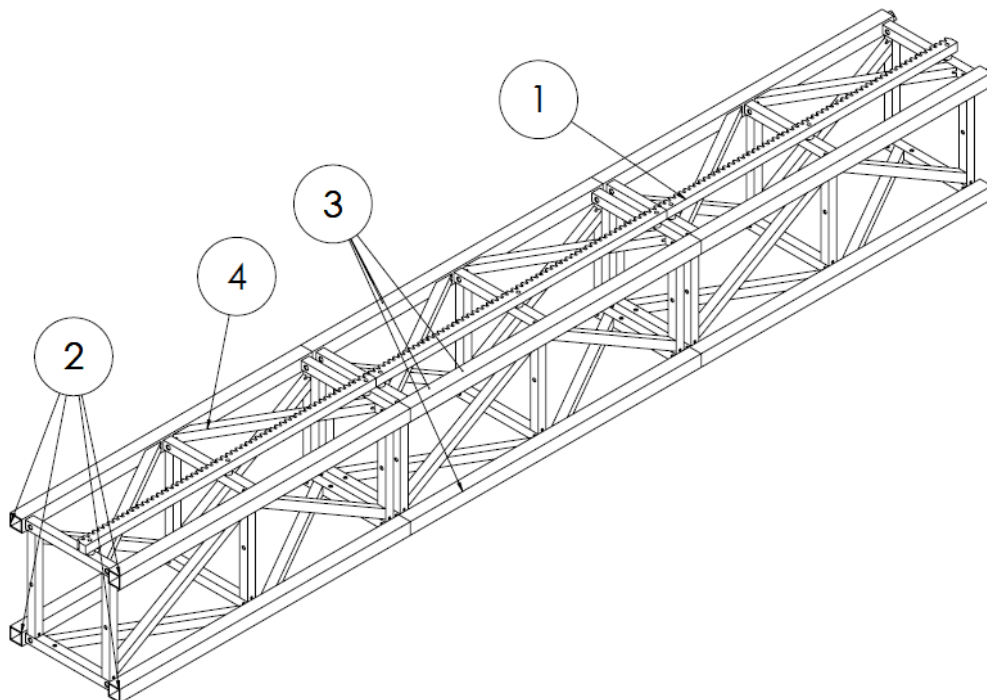


Figura 4.8: Mástil con globos

NÚMERO DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
1	CREMALLERA M6
2	POSICIÓN DEL MÁSTIL
3	VIGAS CUADRAGULARES
4	CELOSIA

Tabla 4.3: Componentes del mástil

El mástil cuenta con algunos componentes secundarios que ayudan al desempeño del ascenso y descenso de la cabina. Se mostrarán a continuación.

4.3.2.1. Base

El propósito de la base del elevador es mantener estabilizada toda la estructura, sosteniendo la posición más baja de la columna vertical apoyada, es decir, el mástil. La base del elevador está compuesta por rejillas de grano de acero (UPN) de 120 mm, un tubo de 120x64x4 mm, cinco tubos de 40x40x3 mm. Es necesario colocar un bloque de hormigón armado en la base para garantizar la estabilidad de la estructura.

El suelo y el bloque de hormigón armado deben soportar una fuerza W mostrada en la siguiente expresión:

$$W [Kg] = (67.78 \cdot H) + 3300$$

H: Altura del mástil [m]

Peso del metro de mástil: 67.78 Kg

Peso de la cabina y accesorios: 3300 Kg

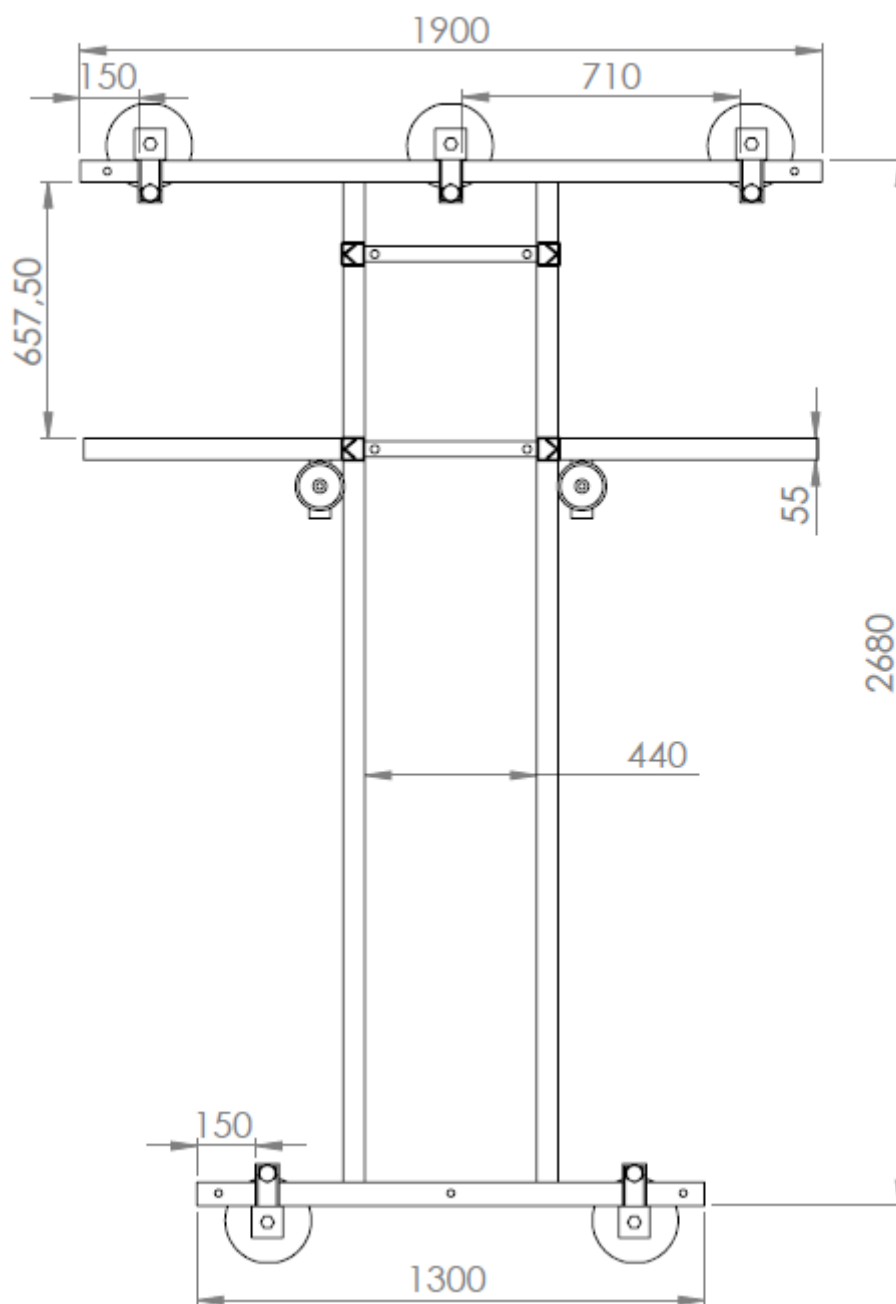


Figura 4.9: Plano de la base

La base posee dos amortiguadores de goma que trabajan para evitar el contacto directo entre la base y el grupo de elevación cuando este último está en su posición más baja.

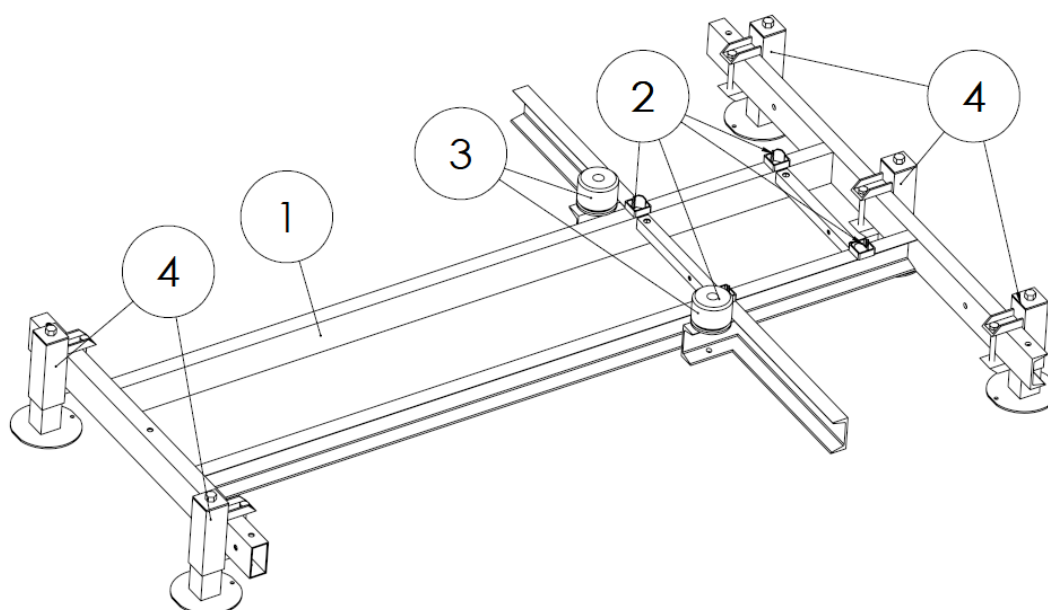


Figura 4.10: Componentes de la base

Además, para ayudar a la nivelación de la máquina a la superficie, la base es sostenida por 5 gatos de nivelación para garantizar la estabilidad. Estos gatos no tienen ningún tipo de amortiguación.

NÚMERO DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
1	ESTRUCTURA TUBULAR
2	POSICIÓN DEL MÁSTIL
3	TOPES DE GOMA
4	PATAS DE NIVELACIÓN

Tabla 4.4: Componentes de la base

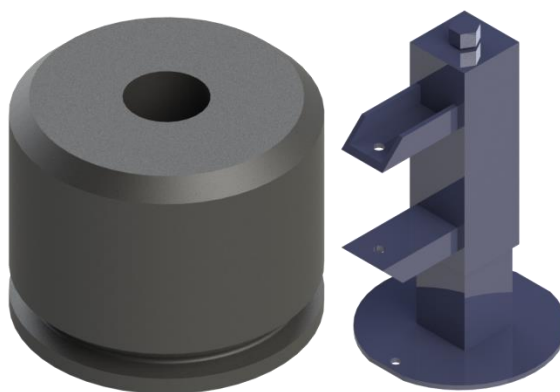


Figura 4.11: Tope de goma y nivelador

4.3.2.2. Arriostre

La columna vertical apoyada, además de estar soportada por la base, necesita un elemento que lo ancle a una pared para aportarle firmeza a lo largo del ascenso, este es el arriostre. Se deben fijar los mástiles cada 6 metros a la pared mediante ellos para mantener la verticalidad del conjunto. Debido a la diversidad de situaciones que puede experimentar la estructura durante su vida útil, el comprador puede realizar el anclaje a pared según sus necesidades, siempre consultando antes al fabricante.

El primer y el último punto de anclaje deben realizarse a una altura de 3 metros con respecto los extremos de la columna vertical apoyada. Este último se caracteriza por ser de color distinto al resto de arriostres y poseer un sensor final de carrera para indicarle al elevador la altura máxima. Todas las condiciones y responsabilidad en el empleo de los arriostres vienen indicadas en la misma norma por la que se rige la cremallera del mástil, la norma **UNE-EN 12159**.

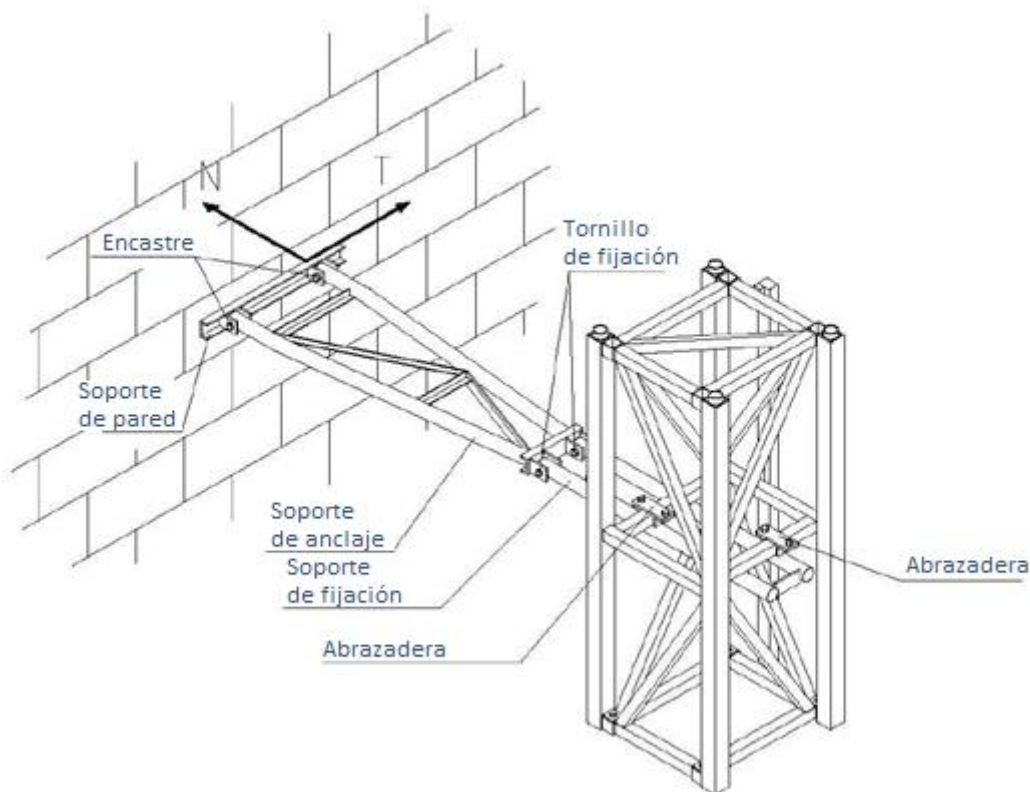


Figura 4.12: Desglose del arriostre

La estructura del arriostre está formada por dos subestructuras fijadas mediante tornillos para facilitar el montaje y desmontaje. Cada 6 metros de altura se fijarán unos soportes a la pared con unas dimensiones variables según la rigidez de la tarea a realizar o del espacio que permita la pared. A estos soportes se les encastra la subestructura exterior de dimensiones fijas del arriostre para aportar rigidez a la estructura vertical. En el mástil se sujetará la otra subestructura, la cual consiste en dos tubos circulares de 48mm de diámetro, mediante uniones por abrazaderas que permiten la variación de longitud horizontal entre el

mástil y la pared anexa. La unión entre las dos subestructuras se realiza mediante uniones atornilladas desmontables.

4.3.2.3. *Trolley*

El trolley es un elemento fundamental en el desempeño de las labores de elevación. Es el encargado de redireccionar el cable de alimentación mientras el elevador asciende o desciende, evitando que se produzcan atoramientos y la posterior rotura del cable de alimentación.

Es un componente del mástil, pero va enganchado a la cabina, subiendo con esta a una cierta distancia preestablecida para no entorpecer la subida o bajada.

Está compuesto de dos grupos de elementos:

- **Grupo de acople.** Este grupo está compuesto de un soporte formado por tubos rectangulares 60x30x3 y 50x30x3 y 4 rodillos que se acoplan al mástil y permiten el movimiento del trolley a lo largo de este.
- **Grupo de disco.** Este grupo lo forman las chapas recogecables y el disco de dirección. Este disco es el encargado de evitar que se atore el cable y que llegue sin problemas la corriente a cabina. Recoge el cable directamente del cubo recogecable y lo eleva.

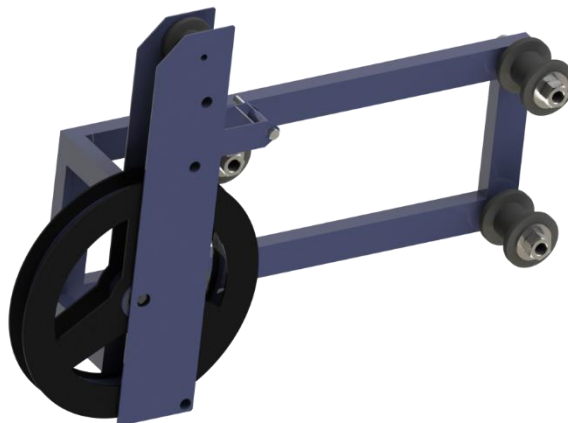


Figura 4.13: Trolley

4.3.2.4. *Conjunto guíacable*

El Guiacable es el conjunto encargado de redirigir y estabilizar el cable de alimentación para su posterior paso por el trolley.



Figura 4.14: Conjunto guíacable

El elemento superior va fijo a la cabina mediante uniones atornilladas y el elemento inferior va fijo cada 6 metros al mástil para evitar el desacople del cable a lo largo del ascenso o del descenso.

4.3.2.5. Patín

Este elemento es el encargado de contactar con los micro-pulsadores del grupo motor para que estos manden la señal eléctrica de puerta de planta. Se sitúan en el mástil a 1,5 metros de las puertas de planta en las que se pretende trabajar con el elevador.



Figura 4.15: Patín guía

4.3.3. Grupo motor

El grupo motor es el conjunto encargado de la elevación del montacargas a lo largo del mástil. Se ensambla en la parte trasera de la cabina y sus piñones son los encargados de engranar la cremallera del mástil. Sus principales componentes son:

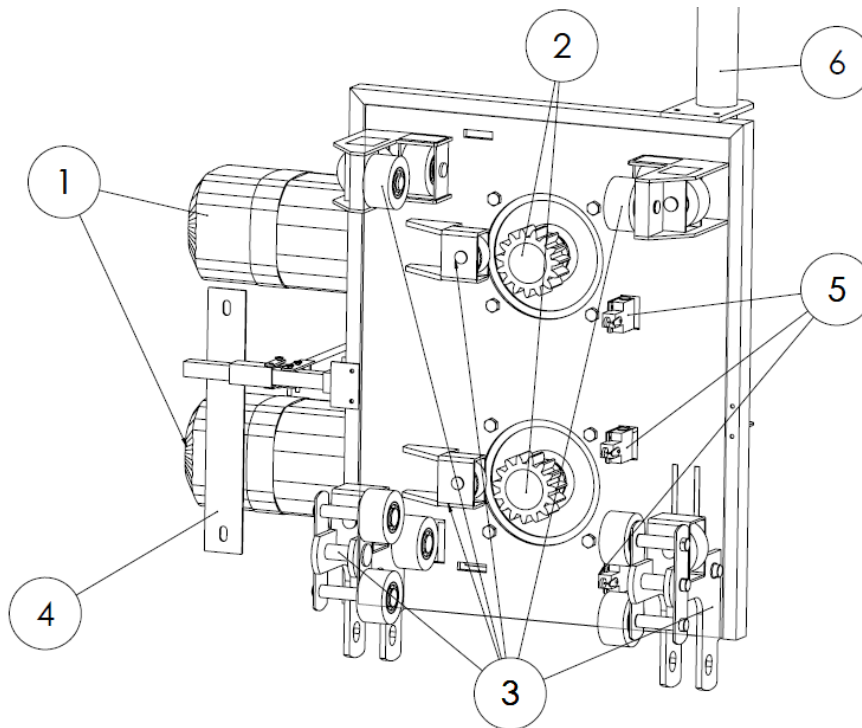


Figura 4.16: Grupo motor con globos

NÚMERO DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
1	MOTO-REDUCTORES
2	PIÑONES
3	GUIAS
4	FRENO MOTOR
5	MICROPULSADRES
6	GRUA

Tabla 4.5: Componentes del grupo motor

4.3.3.1. Motorreductores

Se emplearán dos moto-reductores asíncronos de corriente alterna de 7,5 KW de potencia cada uno. Se han utilizado dos moto-reductores en vez de uno para dividir la potencia transmitida a la cremallera y evitar un deterioro mayor en la base del diente del piñón con respecto al esfuerzo que soportaría un único piñón. Se encuentran apoyados en una plancha metálica y atornillados a esta mediante tornillos M18. A cada eje de los motores se encuentran unidos unos piñones que engranan la cremallera y permite el movimiento vertical.

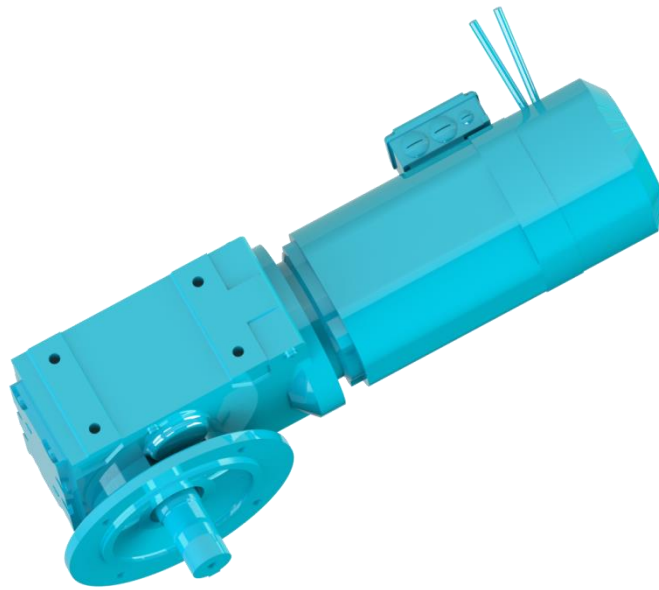


Figura 4.17: Motorreductor

4.3.3.2. Piñones

Se utilizan dos piñones de diente recto con un coeficiente de seguridad de 2 para garantizar el límite elástico de resistencia del diente y un coeficiente de seguridad mínimo de 1.4 para el límite de resistencia a fatiga (Para evitar el picado superficial). Estos piñones están fabricados con un material de propiedades análogas a las de la cremallera para favorecer la durabilidad de los componentes y evitar el desgaste de estos. Las especificaciones de calidad y seguridad de los piñones vienen recogidas en la norma UNE-EN ISO 12159 5.7.3.



Figura 4.18: Piñón

4.3.3.3. Guías de rodillos

Para ayudar al engrane de los piñones y evitar que ocurran contratiempos derivados de un descarrilamiento del piñón-cremallera se sitúan unos conjuntos de rodillos que ejercen oposición a las fuerzas generadas por el motor y el paracaídas. Estos conjuntos de rodillos o guías mantienen la estructura del grupo motor permitiendo únicamente el movimiento vertical y están apoyados en los largueros cuadrangulares que forman los mástiles, deslizando a lo largo de ellos cuando el elevador está en movimiento.

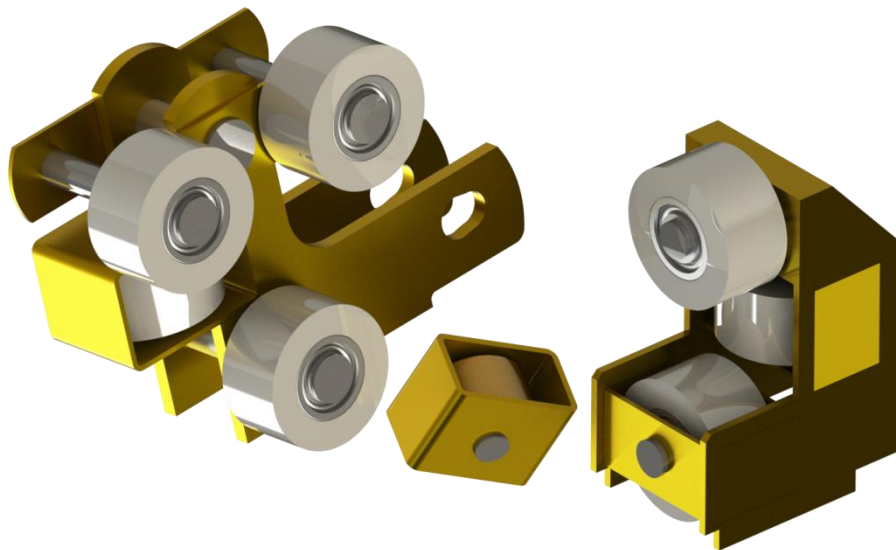


Figura 4.19: Conjuntos de rodillos

4.3.3.4. Freno motor manual

Este componente se instala para uso en caso de emergencia y en el caso de que el freno paracaídas no funcione. Se controla manualmente mediante una barra transversal, a modo de palanca, al componente que queda a mano del ocupante del elevador para, en caso de emergencia, poder manejarlo. El método de uso es el siguiente: El ocupante debe tirar de la palanca hacia él repetidas veces hasta que el elevador se pare, debe ser en repetidas veces en vez de tirar y mantener ya que si lo mantenemos se genera un sobrecalentamiento de los motores y según fallen estos la máquina entraría en caída libre.



Figura 4.20: Freno manual

4.3.3.5. Micropulsadores

Los micro pulsadores son sensores que marcan los diferentes movimientos que realiza el conjunto elevador. Son tres los micros que se encuentran en el grupo motor: el micro de final de carrera (marca la altura máxima de elevación), el micro de subida (marca que la maquina está subiendo) y el micro de bajada (marca que la máquina está bajando).

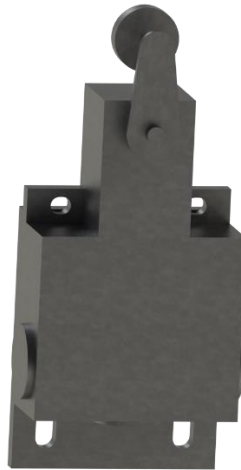


Figura 4.21: Micropulsador

4.3.3.6. Grúa

La grúa es un elemento mecánico que sirve para trabajar con objetos pesados en cabina y poder elevar objetos a esta. Está provista de un motor eléctrico en la zona superior y la base, fijada al grupo motor, permite el giro de la grúa.



Figura 4.22: Grúa

4.3.4. Paracaídas

El freno paracaídas es un elemento de seguridad que se activa en situaciones de emergencia donde la cabina inicia una caída libre debido a averías o a algún accidente. Está diseñado para trabajar en elevadores de piñón y cremallera o de transmisión de piñones. Se sitúa debajo del grupo motor y engranado a la cremallera.

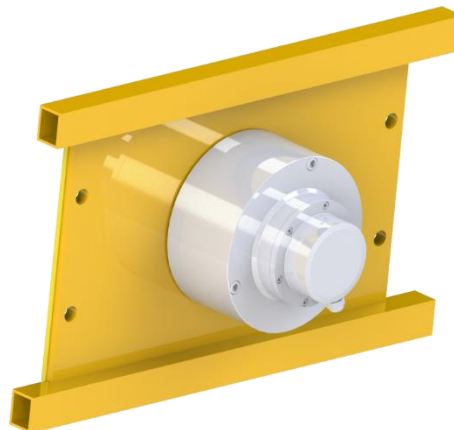


Figura 4.23: Paracaídas

4.3.5. Cabina

La cabina es el recinto en el que se desarrollarán las actividades de los operarios y se transportarán las mercancías. Es el elemento a elevar y va unido al grupo motor, el cual le aporta la potencia necesaria para ascender y descender a lo largo de los tramos verticales de mástil.

La cabina del montacargas estándar tiene unas dimensiones de 3160x1620x2385 mm (largo-ancho-alto) y un peso de 1000 Kg. Todos los elementos que se anexan a la cabina siguen un régimen modular gracias a uniones atornilladas para facilitar el montaje y desmontaje de toda la estructura. Los elementos principales de la cabina son:

- **Bastidor.** El bastidor es una estructura tubular encargada de soportar el peso de toda la cabina y de garantizar la estabilidad estructural del conjunto elevador. Está formado por 12 barras 80x40x3mm, 3 barras 100x40x4mm, 4 barras 140x40x4mm y 2 perfiles UPN 150x50x4mm.

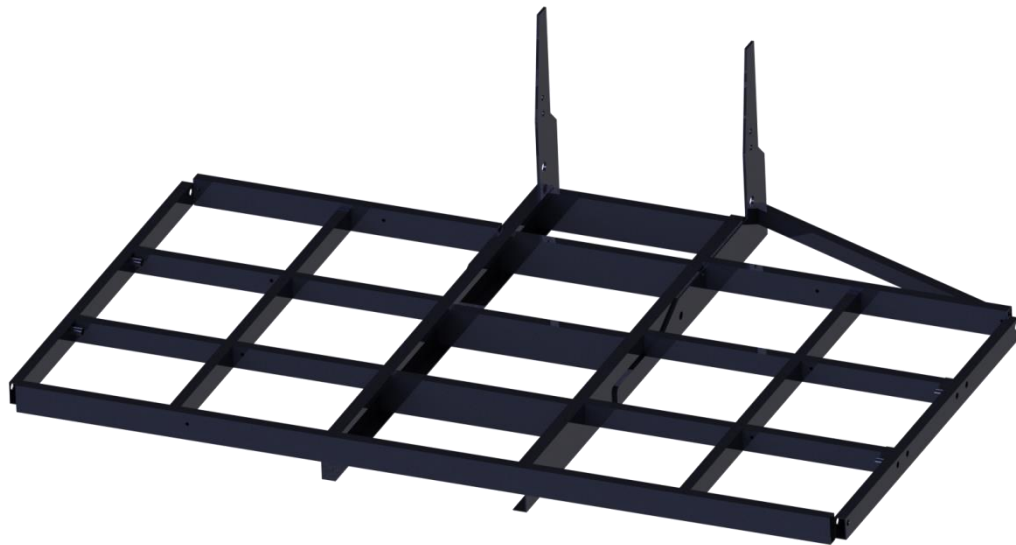


Figura 4.24: Bastidor

- **Placa de suelo.** El material del panel que recubre la parte superior del bastidor y hace de suelo de cabina debe elegirse siguiendo la normativa vigente de elevadores. Debe ser antideslizante, por ello se ha elegido una chapa estriada, resistente a inclemencias al no ser una cabina totalmente cerrada.
- **Cerramiento.** El cerramiento es el conjunto chapas y tubos que cubren los huecos entre los diferentes elementos auxiliares de la cabina. Esto se hace para garantizar la seguridad dentro de la cabina, evitando las posibles caídas de elementos que haya dentro y reduciendo el peligro de aplastamiento con los elementos móviles mientras el montacargas está en funcionamiento. La altura mínima del cerramiento sigue la normativa UNE 12159 5.3. y debe ser de mínimo 2 metros para garantizar la seguridad en el interior de la cabina. Para facilitar el modelo modular de la cabina, el cerramiento posee agujeros a una distancia establecida para permitir la intercambiabilidad de los accesorios.
- **Cuadro de control.** En él se encuentra la botonera encargada de los movimientos verticales del ascensor y el encendido de este. Se encuentra cerca del grupo motor y se coloca en un hueco provisto en el cerramiento. Se comunica con la caja de bornes y el panel de control que se encuentra en el recinto base para, en caso de rotura o fallo, poder bajar la cabina manualmente desde abajo.

- **Accesorios.** Las dimensiones de la cabina permiten albergar una trampilla y tres accesos al habitáculo. En los accesos se encuentran agujeros a una distancia preestablecida para permitir las uniones atornilladas a todos los módulos de los que dispone el elevador. Todos los módulos siguen la normativa UNE-EN 12159 5.5.3. de seguridad. En esta normativa se establece que las puertas y trampillas solo pueden ser de 1.1 metros de altura si no van a abarcar toda la altura del acceso. Todos los módulos atornillables poseen un cerrojo de seguridad en forma de micro-pulsador que evita el funcionamiento del elevador en el caso de que una puerta o trampilla esté abierta.



Figura 4.25: Explosionado de cabina

4.3.5.1. Módulos de cabina

A continuación, se muestran cada uno de los módulos existentes para elevador, los cuales siguen la normativa **UNE-EN 15159**, y una tabla con los elementos y su disposición explosionada en el elevador.

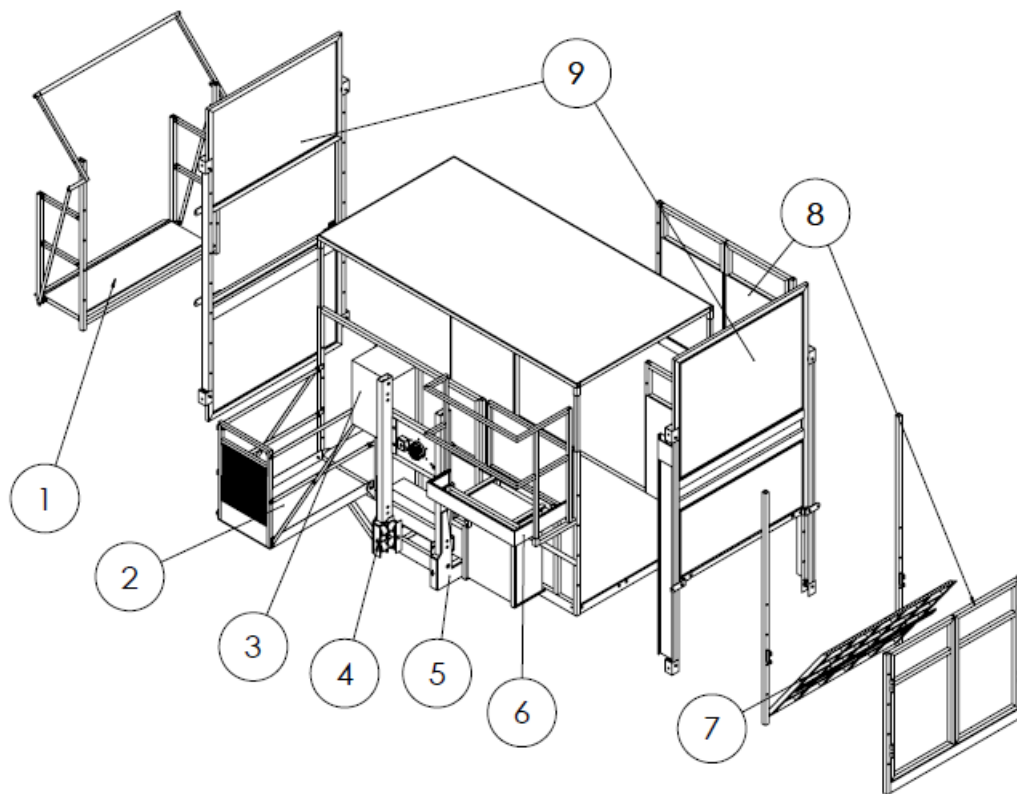


Figura 4.26: Cabina con globos

NÚMERO DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
1	TRAMPILLA ABATIBLE DE BRAZO
2	TRAMPILLA TRABAJO EXTERIOR
3	CAJA DEL CUADRO DE CONTROL
4	JUEGO DE RODILLOS DOBLES
5	FIJACIÓN GRUPO MOTOR
6	TRAMPILLA VENTANA
7	TRAMPILLA ABATIBLE
8	PUERTA DE ACCESO
9	PUERTAS DE GUILLOTINA/HOJA DOBLE

Tabla 4.6: Componentes de la cabina

1. Trampilla abatible de brazo

Esta trampilla es la utilizada para conectar el elevador con el piso que tiene la puerta de planta con la que se accede a este. Tiene forma de rampa para poder descargar y cargar carga.



Figura 4.27: Trampilla abatible de brazo

2. Trampilla de trabajo exterior

A la hora de realizar trabajos en el exterior de la fachada o realizar el mantenimiento en alto del mástil se necesita una trampilla que se convierta en una plataforma adicional para trabajar.



Figura 4.28: Trampilla de trabajo exterior

3. Caja del cuadro de control

Este accesorio es el cajeadado que se le realiza a la cabina en el caso de que se quiera instalar un cuadro de control dentro de ella. El elevador propuesto está provisto de él.

4. Juego de rodillos dobles

Estos elementos son unos componentes de seguridad. En el caso de que existan imperfecciones a lo largo del mástil que puedan poner en peligro el deslizamiento de los rodillos, este juego de rodillos evita que se produzcan desajustes.



Figura 4.29: Juego de rodillos dobles

5. Fijación del grupo motor

Este elemento sirve como refuerzo y plantilla para realizar las soldaduras entre los largueros del grupo motor y la base de la cabina.

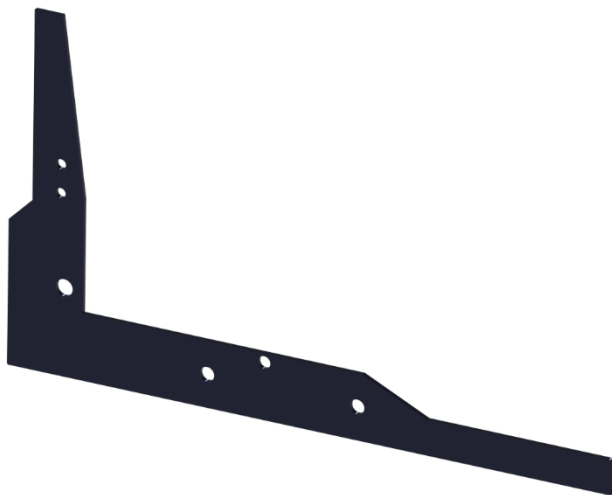


Figura 4.30: Fijación del grupo motor

6. Trampilla ventana

A la hora de realizar los trabajos del montaje del mástil, esta trampilla sirve como piso intermedio entre el suelo de la cabina y su techo. Se desmonta una vez hayan terminado los trabajos de montaje y desmontaje de las secciones del mástil.



Figura 4.31: Trampilla ventana

7. Trampilla abatible

Realiza la misma función que la trampilla de brazo, sin embargo, esta está enfocada a un tiempo de carga y descarga más prolongado y para cargas más pesadas. Durante el trabajo en fachada en la fase plataforma de transporte se mantendrá la trampilla bajada y apoyada en el suelo de la planta mientras trabajen los operarios.



Figura 4.32: Trampilla abatible

8. Puerta de acceso

Este módulo de puerta es el estándar, se suele utilizar cuando no se va a cargar o descargar la carga por esa salida. Es la elección más común en el hueco diametralmente opuesto del mástil.



Figura 4.33: Puerta de acceso

9. Puertas de guillotina / hoja doble

En el modo montacargas, este es el módulo de puertas para huecos más montado debido a que cierra la cabina completamente, sin huecos. Especialmente indicado para zonas con climas cambiantes.



Figura 4.34: Puertas

4.3.6. Puerta de planta

La puerta de planta es el elemento de conexión entre las plantas del edificio en las que se realizan las obras y el elevador. Está compuesto por un marco que lo arriostra al suelo y techo de la planta y una puerta corredera con cerrojo electromagnético.

Dispone de sensores que notifican al elevador cuando la puerta está abierta, evitando que se mueva el elevador hasta que no se haya cerrado. Se ha seguido la normativa UNE-EN 12159 para realizar el mecanismo de cierre, siguiendo los requisitos de diseño y seguridad.



Figura 4.35: Puerta de planta

4.4. Componentes del montacargas en fase Jumbo (plataforma de transporte)

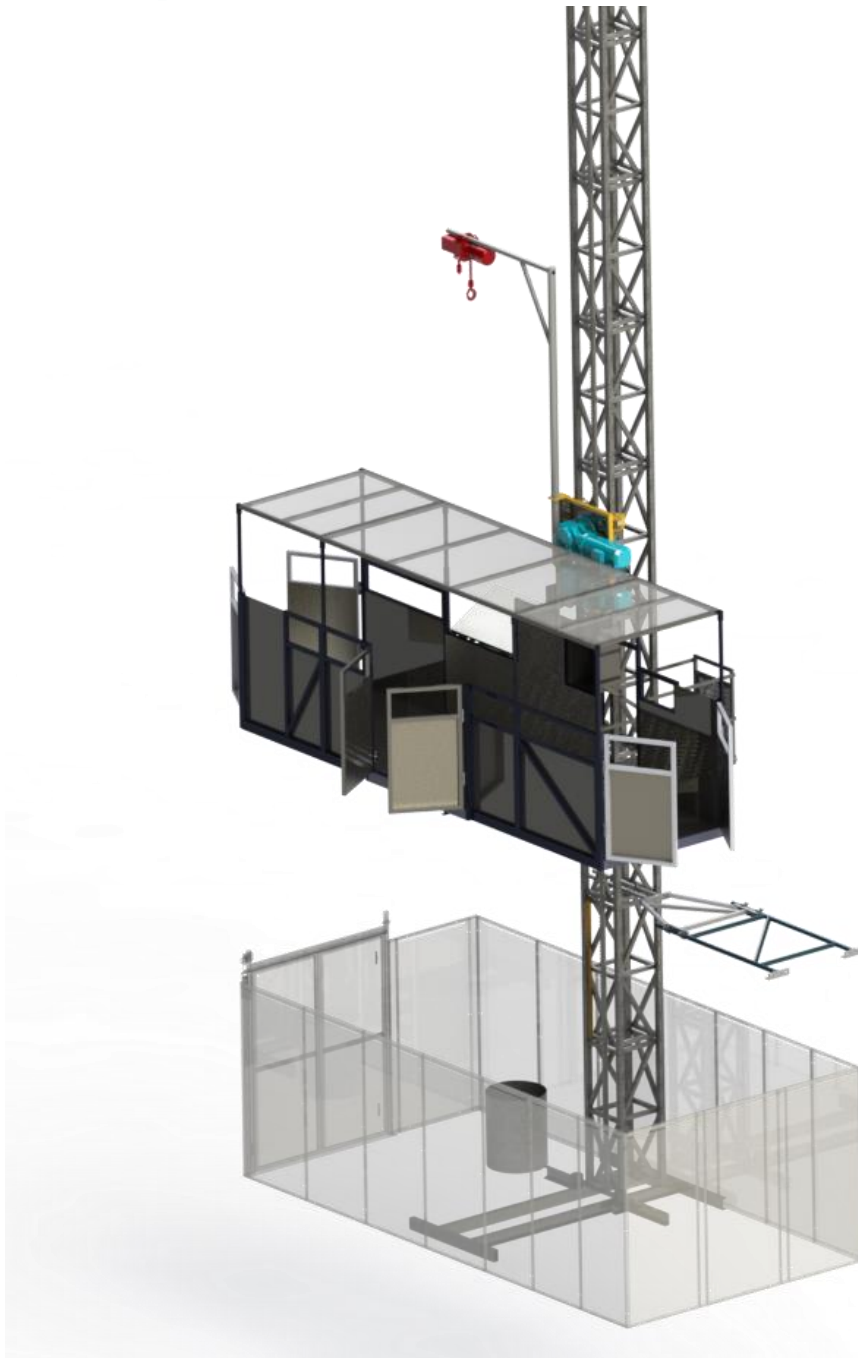


Figura 4.36: Fase plataforma de transporte

En la fase plataforma de transporte se busca agrandar el espacio interior de la cabina y permitir mediante los módulos extensibles un apoyo al trabajo en fachada a la vez que la posibilidad de ascender y descender carga. Por ello solo **varían 3 componentes con respecto al modelo de montacargas original**.

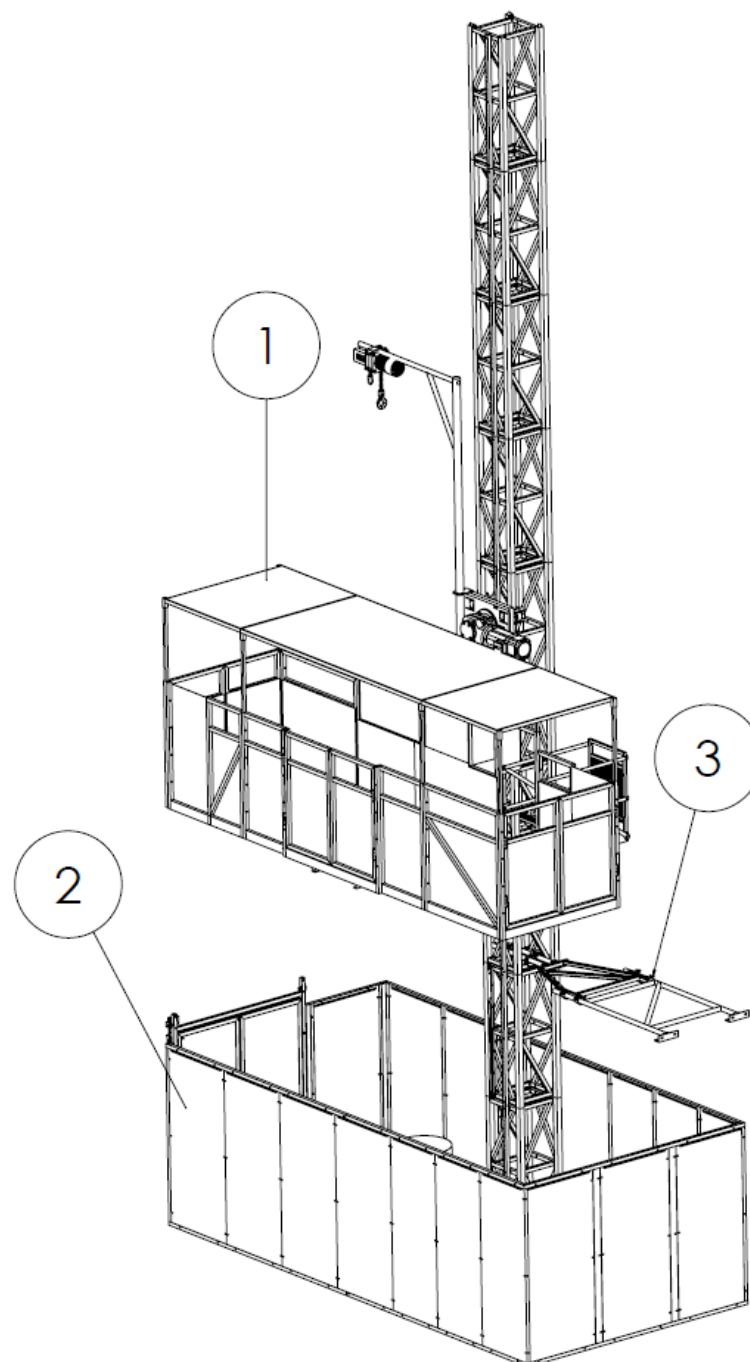


Figura 4.37: Plataforma de transporte con globos

NÚMERO DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
1	EXTENSIBLE MODULAR
2	RECINTO BASE JUMBO
3	ARRIOSTRE JUMBO

Tabla 4.7: Componentes de la plataforma de transporte

4.4.1. Extensible modular

El extensible tiene unas dimensiones de 1250x1580x2135 mm. La base está compuesta de un chasis tubular de tubos rectangulares 80x40x4 mm. El chasis de la cabina está formado por tubos 40x40x4 y los huecos del extensible están reforzados con unas chapas de acero inoxidable.

El módulo extensible se une a la cabina mediante unas juntas atornillables que posee en la unión de los largueros verticales. La distancia de los huecos para tornillos está **parametrizada** para permitir la instalación de todos los módulos puerta o extensibles generados para el elevador. En la unión del chasis tubular del suelo se encuentran unos agujeros cuya finalidad es la introducción de tubos de refuerzo de acero para rigidizar la estructura. Estos tubos tienen unos topes a ambos lados del agujero que se sueldan por dentro al bastidor para rigidizar la estructura.

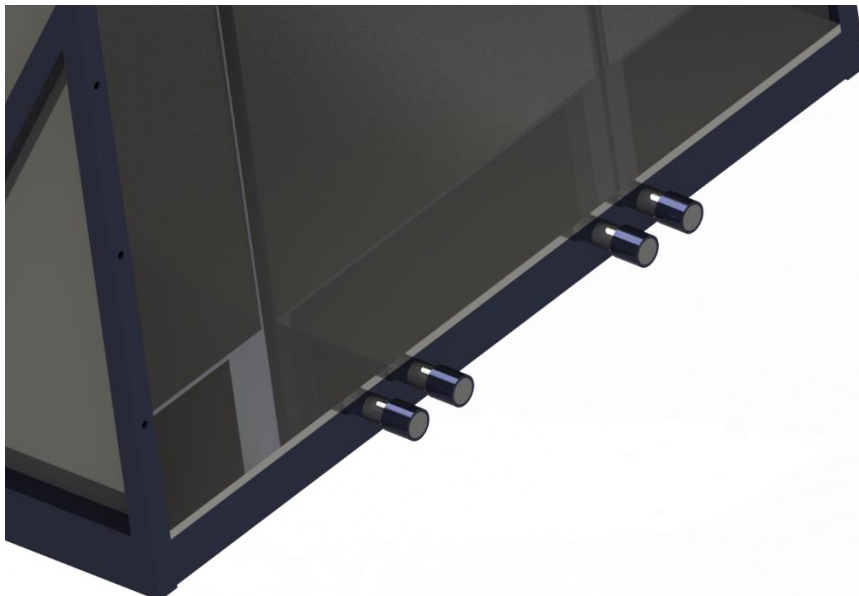


Figura 4.38: Uniones del extensible

En uno de los laterales del módulo extensible se puede quitar la chapa, la cual está atornillada para permitir el paso de los ocupantes de la cabina a los andamios de trabajo en fachada.

El módulo está preparado para aguantar el paso de carga de un lado al otro del habitáculo y el paso de los operarios, sin embargo, es aconsejado mantener la carga en el centro de la cabina para mantener óptimas las condiciones de seguridad.

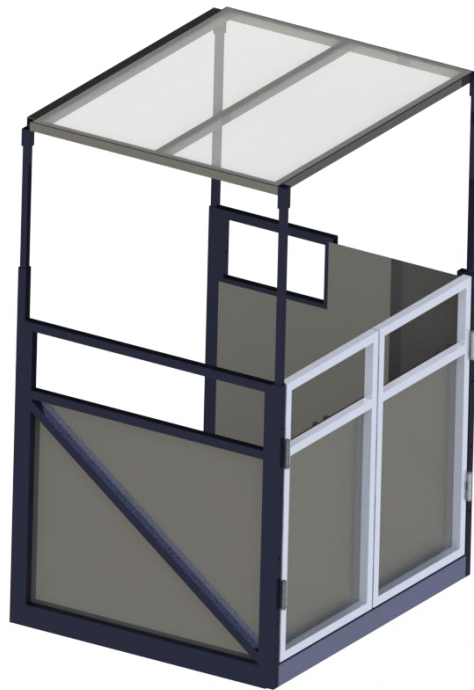


Figura 4.39: Extensible modular

4.4.2. Recinto base (Plataforma de transporte)

Está compuesto de 12 paneles de acero de 920x2000x4 mm, 6 paneles de acero de 740x2000x4 mm y una puerta corredera con cierre electromagnético. Sus dimensiones totales son de 5938,5x2963x2000 mm.

Cerca de la puerta se encuentra el mando de control remoto del elevador, cuya función es la de manejar el elevador en fase montacargas o en caso de emergencia.

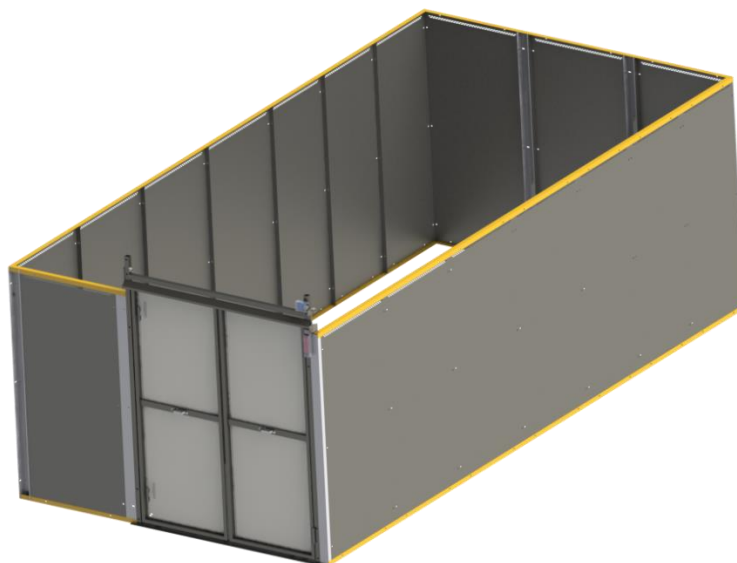


Figura 4.40: Recinto base (Plataforma de transporte)

4.4.3. Arriostre Jumbo

Este arriostre está pensado para un reparto de cargas mayor que en el montacargas, por ello su estructura es más ancha. Sin embargo, mantiene una estructura similar al arriostre de la fase montacargas y sigue la misma normativa UNE-EN 12159.

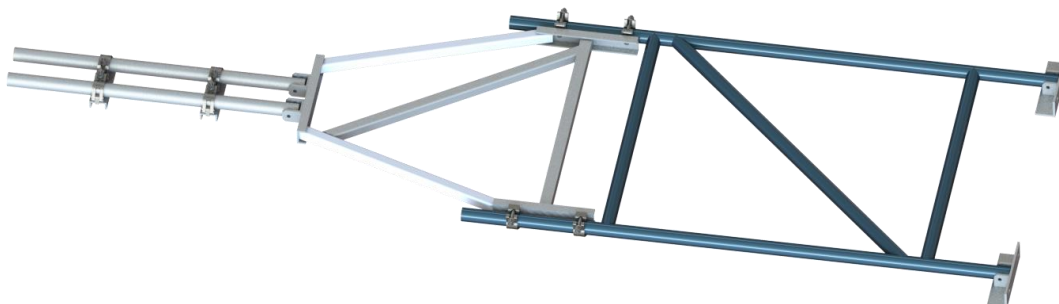


Figura 4.41: Arriostre (Plataforma de transporte)

5. DISEÑO MECÁNICO: CÁLCULOS Y RESULTADOS

Este apartado se va a centrar en la descripción de los cálculos realizados a los componentes principales y más críticos del elevador. Cada uno de los resultados de los sub-apartados tienen en cuenta las normativas de actual cumplimiento en el sector.

El **primer punto** del apartado va a ser referente al **par y la potencia** necesarios que deben suministrar los dos motores anexos a la cabina. Se tendrá en cuenta las dimensiones del elevador en fase montacargas y en fase jumbo.

El **segundo punto** tiene relación con el primero, se van a realizar **cálculos de los piñones motores**. La fase Jumbo, al tener más peso debido a sus dimensiones mayores, supone unos esfuerzos mayores en los dientes de los piñones. Por ello se ha elegido un grupo de dos motores para suministrar el par motor al elevador, y así dividir a su vez en dos piñones motores los esfuerzos sufridos. Además, se van a establecer el material y propiedades necesarios en el piñón y la cremallera para soportar más eficientemente los esfuerzos.

En el **tercer punto** se va a realizar un **análisis de elementos finitos** del bastidor de la cabina. En el análisis se comprobará la resistencia en función de la normativa vigente UNE-EN ISO 12159 y se utilizarán los datos suministrados por el programa para saber a qué cargas se debe someter la estructura.

En resumen, este apartado se va a centrar en alcanzar unos resultados óptimos de potencia y resistencia capaces de satisfacer las necesidades del cliente cumpliendo la normativa vigente. Para ello se seguirán los siguientes puntos:

- Calcular el par necesario que la pareja de moto-reductores deben aportar al conjunto para elevar la cabina a la altura necesaria.
- Calcular el esfuerzo sufrido por los dientes de los piñones motores al engranar con la cremallera.
- Resistencia a fallo de los piñones durante la transmisión.
- Analizar mediante el método de elementos finitos el bastidor del elevador.

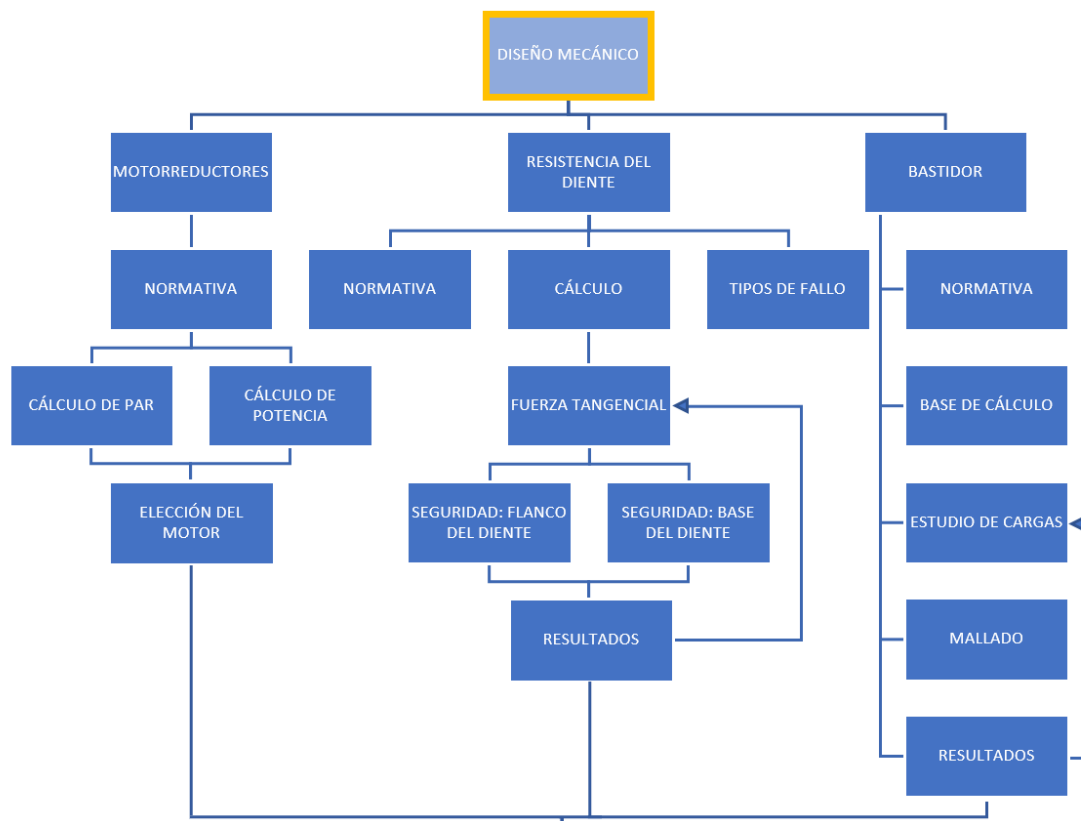


Figura 5.1: Organigrama: Fase de cálculos

5.1. Moto-reductores

Los moto-reductores son los encargados de aportar el par motor necesario para desplazar la cabina, paliando el peso de esta y de la carga que eleva. Para hallar el modelo más óptimo de moto-reductor para el elevador se deben tener en cuenta el par motor y la potencia.

5.1.1. Normativa aplicada

Los moto-reductores utilizados son fabricados por la empresa SEW-Eurodrive. Esta empresa es la encargada de diseñar, fabricar y realizar el mantenimiento de los motores que comercializan.

Como el resto de empresas del sector se encarga de seguir la normativa vigente acerca del diseño y la seguridad de estos productos:

- Los motorreductores de velocidad cumplen las disposiciones legales según la **Directiva de Máquinas 98/37/CE**.
- Tanto para las fases de diseño, como para la de fabricación, el montaje y la comercialización de los motorreductores se ha tenido en cuenta la normativa de Gestión de Calidad **ISO 9001:2008**.
- Potencias y dimensiones según **CENELEC HD 231**.

- Características de seguridad según **CENELEC 60034**.

5.1.2. Proceso de cálculo

En cuanto a la potencia, la fórmula a aplicar es la siguiente ^[15]:

$$W = \frac{M \cdot g \cdot v}{\eta}$$

El elevador propuesto pesa 1100 Kg y la carga máxima que puede soportar es de 2000 Kg (carga nominal), siendo en conjunto 3100 los kilogramos que deben ser capaces de mover los dos moto-reductores. **La carga nominal debe situarse siempre en el centro del habitáculo del elevador para evitar desajustes en el sistema motriz y cargas adicionales innecesarias.**

Cabe destacar que la carga máxima que admitirá en el problema presentado será de 1500 Kg, sin embargo, esos 500 Kg de más se le añaden para tener en cuenta los módulos extensibles, los cuales añaden peso a la estructura original.

Además de esto, el elevador alcanza una velocidad máxima de 24 m/min o 0.4 m/s en fase de plataforma de transporte, como ya se ha mencionado anteriormente, y se ha estimado un factor de pérdidas (rendimiento del motor SEW) de 0.92 para el cálculo de la potencia. Por lo tanto, la potencia requerida es:

$$W = \frac{M \cdot g \cdot v}{\eta} = \frac{3100[Kg] \cdot 9.81 \left[\frac{m}{s^2} \right] \cdot 0.4 \left[\frac{m}{s} \right]}{0.92} = 13222,17 [W]$$

En cuanto al par que debe suministrar el motor, la fórmula a aplicar es la siguiente:

$$T = F \cdot d = M \cdot g \cdot d$$

Conociendo la masa nominal total, solo queda por conocer el valor del radio primitivo del piñón, el cual es de 0.06m según fabricante. Por lo tanto, el par de salida que debe de suministrar el motor es:

$$T = F \cdot d = M \cdot g \cdot d = 3100[Kg] \cdot 9.81 \left[\frac{m}{s^2} \right] \cdot 0.06[m] = 1824,66 [N \cdot m]$$

Estos son los valores mínimos de potencia y par transmitido que deben aportar los moto-reductores, por lo tanto, se debe elegir una pareja de motores que satisfaga tales requerimientos.

Se han elegido una pareja de moto-reductores de ejes paralelos de la marca SEW. Al ser de ejes paralelos, el voltaje permanecerá constante pero las corrientes se sumarán, dando como resultado un aumento de la potencia. Las especificaciones de la pareja son las siguientes:

	1 motor	2 motores
Potencia	7.5 [KW]	15 [KW]
Par salida	1990 [Nm]	1990 [Nm]
Velocidad de salida	1455/55 [r/min]	1455/55 [r/min]

Tabla 5.1: Propiedades de los motorreductores escogidos ^[6]

Observando la tabla anterior, al usar dos motores paralelos cumplimos con los requerimientos de potencia y par de salida para mover el elevador. Se debe tener en cuenta que la potencia de los dos motores en carga máxima disminuye a 12,7 KW, pero esta potencia corresponde a la potencia requerida sin aplicar el factor de corrección. Si este no se aplicara, la potencia requerida se quedaría en 12,16 KW por lo que se cumple en carga máxima con la pareja de motores.

Se debe señalar que se ha utilizado el valor de velocidad máxima (24 m/min) en fase montacargas, aunque el elevador va a moverse en ambas fases a 12 m/min, y que la carga nominal se ha establecido en 2000 Kg para el cálculo, a pesar de admitir solo 1500 Kg, para obtener unos **resultados críticos** y elegir un motorreductor que cumpla sobradamente con las exigencias.

5.2. Resistencia del diente

Los engranajes cilíndrico-rectos son el tipo de engrane más sencillo que hay. Se utilizan normalmente para velocidades de transmisión bajas y medias, ya que a altas velocidades producen un alto ruido si no están debidamente tallados o rectificadas.

5.2.1. Normativa aplicada

En este apartado se va a utilizar la normativa UNE-EN 12159 para elevadores de obras de construcción para pasajeros y carga, a partir del punto 5.7.3.1 que es el referido a los sistemas de accionamiento de piñón y cremallera.

Esta norma nos indica que previamente al diseño y elección del piñón-cremallera se deben seguir las siguientes generalidades:

- Los piñones de accionamiento y del dispositivo de seguridad (paracaídas) **deben fijarse positivamente a sus ejes**, esto se refiere a que existirá una carga normal entre el piñón y la cremallera, mediante métodos que no incluyan fricción ni apriete.
- El piñón del dispositivo de seguridad (paracaídas) debe situarse **por debajo** de los piñones motor.
- Las cremalleras deben fijarse con seguridad para evitar daños posteriores en los dientes o un engrane defectuoso.

- Deben tomarse medidas para prevenir la penetración de cuerpos extraños entre el piñón y cremallera, es decir, **deben utilizarse lubricantes**.

A la hora de realizar los cálculos de los piñones respecto a la resistencia del piñón y los dientes se deben tener en cuenta las siguientes normas: **ISO 6336-1, ISO 6336-2, ISO 6336-3 e ISO 6336-5**. En estas normativas se indica que para realizar los cálculos se debe utilizar un coeficiente de seguridad mínimo de 2 para el límite de resistencia a fatiga del diente y un coeficiente de seguridad mínimo de 1,4 para el límite de resistencia a picaduras del diente.

En cuanto a la cremallera, **sigue la misma normativa que los piñones** y según estas se debe utilizar un coeficiente de seguridad mínimo de 2 para el límite de resistencia del diente, considerando el desgaste máximo que se produce según el manual de instrucciones del fabricante.

En cuanto al **engrane del piñón y la cremallera**, para mantenerlo correcto se deben seguir estas dos indicaciones:

- El engrane correcto entre el piñón y la cremallera se produce cuando el diámetro primitivo del piñón no se separe más de $1/3$ del módulo con respecto a la recta primitiva de la cremallera.

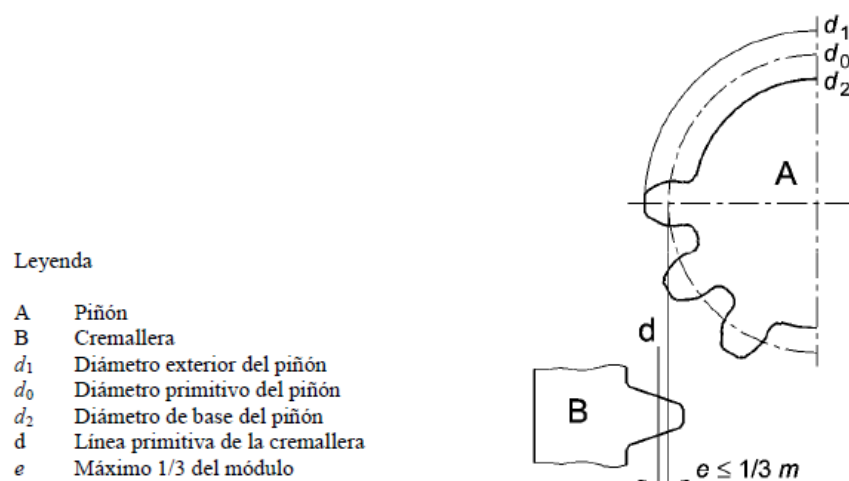


Figura 5.2: Engrane correcto del diente del piñón

- En caso de emergencia, debe garantizarse que no se supera más de $2/3$ del módulo de distancia entre el diámetro primitivo del piñón y la recta primitiva de la cremallera.

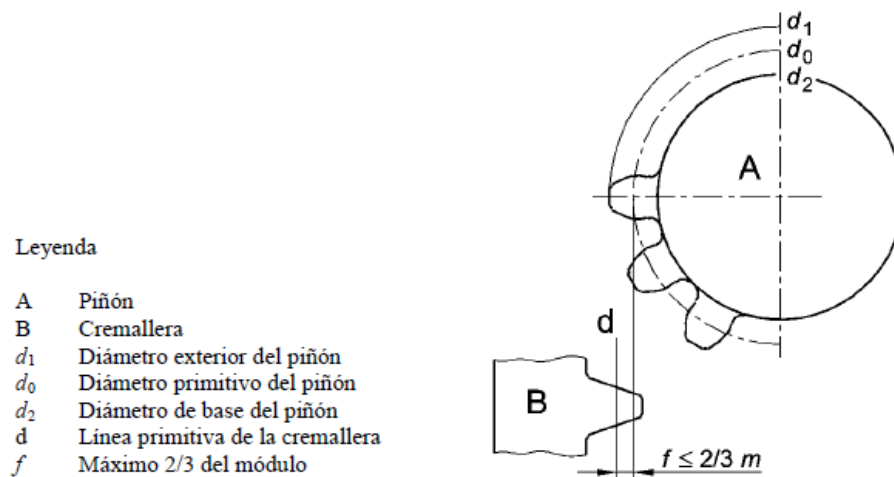


Figura 5.3: Engrane mínimo del diente del piñón

- Debe asegurarse que en caso de fallo se quede engranado el 90% del ancho del diente de la cremallera en el ancho del diente del piñón.

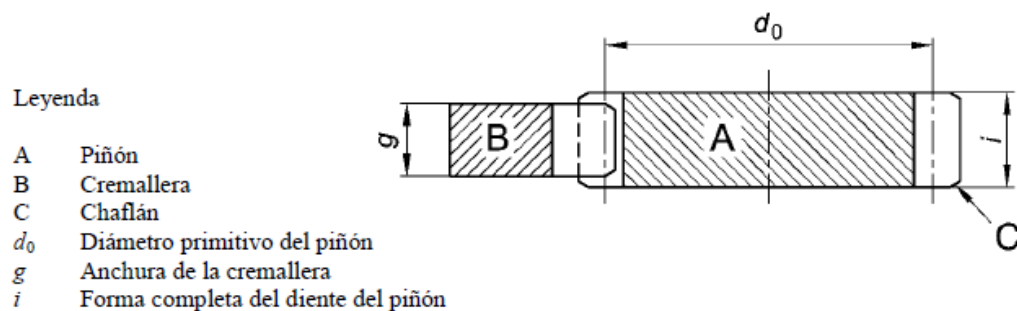


Figura 5.4: Engrane correcto del diente

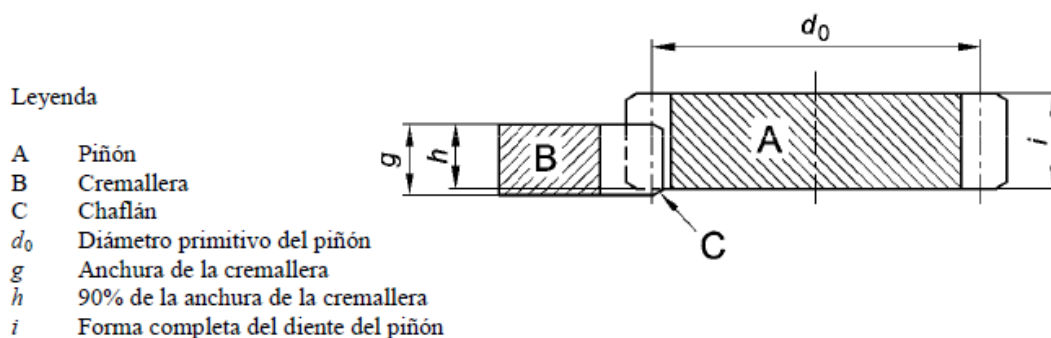


Figura 5.5: Engrane mínimo del diente

5.2.2. Diseño del grupo motor

El sistema de rodillos del grupo motor se ha fabricado con la idea de satisfacer estas indicaciones de la normativa. Para ello se han situado varias guías de rodillos que envuelven el engrane entre el piñón y la cremallera, como se muestra en la siguiente ilustración:

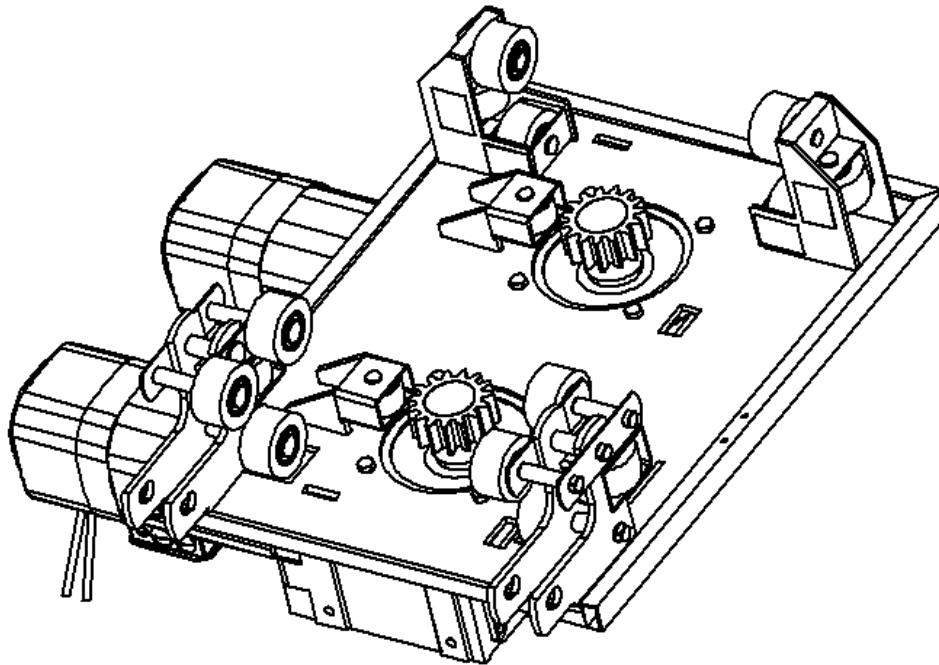


Figura 5.6: Diseño del grupo

Para el diseño del número de dientes y su módulo se han seguido las especificaciones recomendadas por la normativa UNE-EN 12159 en su sección 5.7.3. El módulo de los piñones y la cremallera es m6, cumpliendo con el requisito de que en sistemas donde el contra-rodillo que controla el engrane no es un elemento del mástil, el módulo debe ser mayor que 4.

La **cremallera** está fabricada con acero AISI 4340 nitrurado de alta resistencia y dureza, se encuentra soldada a cada una de las secciones del mástil y su **ancho de cara** será de b=40mm.

Los **piñones** serán el objeto de estudio en el apartado de cálculos del diente para determinar su ancho de cara y el material del que están compuestos. Se conoce que **módulo es m6** coincidiendo con el de la cremallera, el **número de dientes** de ambos piñones es 20 y que su diámetro primitivo sigue la siguiente fórmula:

$$D = z \cdot m$$

$$D = 20 \cdot 6 = 120 \text{ [mm]}$$

D: Diámetro primitivo

z: nº de dientes

m: Módulo

Por lo tanto, los datos de los piñones y cremallera conocidos son los que se muestran en la siguiente tabla:

ELEMENTO	PIÑONES	CREMALLERA
N.º de dientes	20	79
Módulo	6	6
Diámetro/línea primitiva	120 [mm]	-
Ancho de cara	-	40 [mm]
Material	-	AISI 4340 nitrurado

Tabla 5.2: Datos conocidos del engrane

Mediante este sistema, la cremallera queda completamente engranada y se evita que al ocurrir un fallo se desajuste más allá de los límites de la normativa. Los conjuntos de rodillos mantienen firme el grupo motor con respecto al mástil y la cremallera, manteniendo estable el elevador y evitando desajustes.

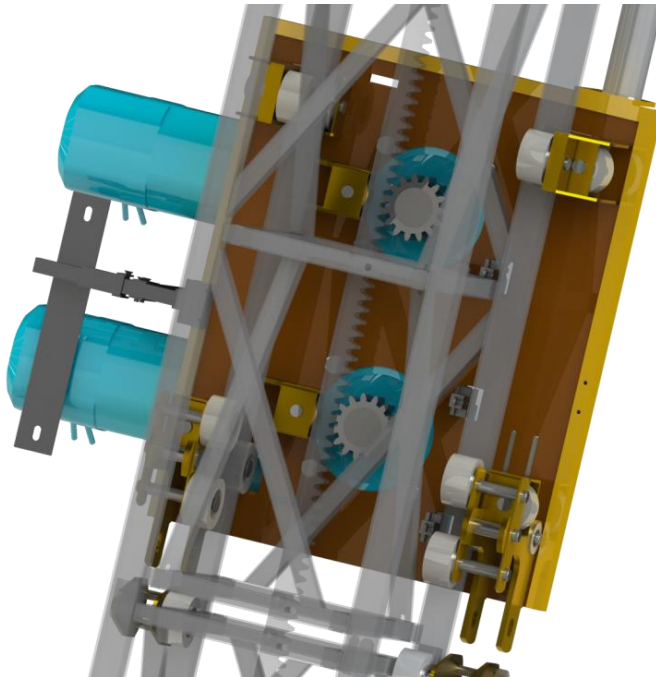


Figura 5.7: Engrane con cremallera

En el apartado posterior de cálculos se analizará la carga que sufren los piñones y, siguiendo la normativa AGMA, se tratará de obtener el material y el ancho de cara de estos para cumplir con los requerimientos mínimos de la norma.

5.2.3. Tipos de fallo

Los dientes de un engranaje son los encargados de realizar el esfuerzo de empuje y de transmitir la potencia desde los ejes motores a los conducidos. Son un elemento clave a tener en cuenta para que todo el mecanismo de elevación funcione, este apartado se va a centrar en el cálculo de todos los esfuerzos que someten a los engranajes y las propiedades que deben tener estos para que no se produzca un fallo durante la transmisión de potencia.

Para realizar los cálculos de engranajes se siguen dos tipos de normativa generalmente: la normativa AGMA y la normativa ISO. En este documento se va a utilizar la normativa AGMA para realizar los cálculos ya que es el tipo de normativa con el que más se ha trabajado durante la carrera y da un resultado satisfactorio en los cálculos. ^[14]

A la hora de elegir el material correcto para la aplicación, se debe tener en cuenta los dos tipos de fallo que pueden tener los engranajes:

1. Fallo por rotura en la base del diente.

Este fallo ocurre cuando el esfuerzo máximo sufrido por los dientes es superior al límite de resistencia a fatiga o al límite de resistencia a fluencia del material. A continuación, se van a mostrar los diferentes motivos para que se produzca el fallo y las posibles soluciones que se les puede dar a estos:

CAUSA DE FALLO	SOLUCIÓN POSIBLE
Rotura violenta en la base del diente por sobrecargas en la transmisión	<ul style="list-style-type: none"> • Protección contra las sobrecargas • Estimación de las mismas durante la fase de diseño
Rotura en la base del diente por fatiga (cargas de flexión pulsatorias)	<p>Aumentar la capacidad de carga del engranaje:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aumento de las dimensiones (m, z, b) • Desplazamiento positivo del dentado del piñón • Tratamientos térmicos adecuados • Refuerzo de la transición del pie
Rotura esquinada a causa de una distribución de carga desigual a lo largo del ancho del diente debido a errores de montaje y de alineación de los flancos por fabricación o distorsiones por deformación bajo carga	<ul style="list-style-type: none"> • Subsanan errores de montaje • Realizar una buena alineación de los flancos durante la fabricación o reducir el ancho de rueda • Eliminar las distorsiones o aumentar la convexidad de los flancos para descargar los extremos
Astillado de la cabeza de los dientes de las ruedas tratadas por temple superficial y sometidas por cargas bruscas	<ul style="list-style-type: none"> • Utilización de materiales más tenaces

Tabla 5.3: Fallo por rotura en la base del diente

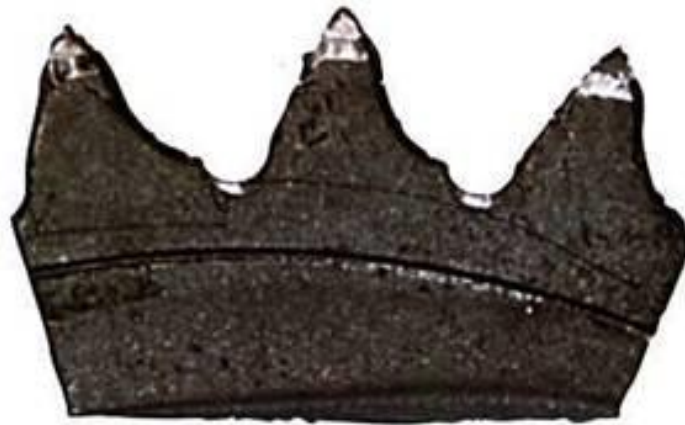


Figura 5.8: Sobrecarga

2. Fallo por deterioro superficial en los flancos de los dientes.

Este fallo ocurre cuando el esfuerzo máximo sufrido por el diente en la zona de contacto es mayor que la resistencia a fatiga del material del diente, los motivos por los que se produce este tipo de fallo son:

- **Fluencia superficial.** Cuando el material es demasiado blando y el engranaje está sometido a cargas de superficie en los flancos, puede entrar en fluencia. Esto puede provocar la aparición de estrías en la zona de rodadura o rebabas en la cabeza al arrastrar material blando en fluencia.
- **Fluencia en la zona de transición de la capa endurecida.** El deterioro se produce en forma de ondulaciones o desmoronamientos en los flancos al perder apoyo la capa endurecida del diente, todo esto debido a la fluencia.
- **Gripado.** Debido al aumento de la temperatura en el contacto se desgasta la película de lubricante, llegando a romperla y hacerla desaparecer. Esto conlleva que el contacto entre dientes se produzca de metal a metal, produciendo el deterioro superficial.
- **Picado superficial.** Aparece después de repetidos ciclos de carga por debajo de la resistencia del material. La tensión cortante máxima produce una microgrieta por fatiga en el interior de la capa superficial, que se propaga a la superficie debido a los sucesivos ciclos de carga. Posteriormente el lubricante comienza a introducirse en la grieta actuando como una cuña que arranca material.

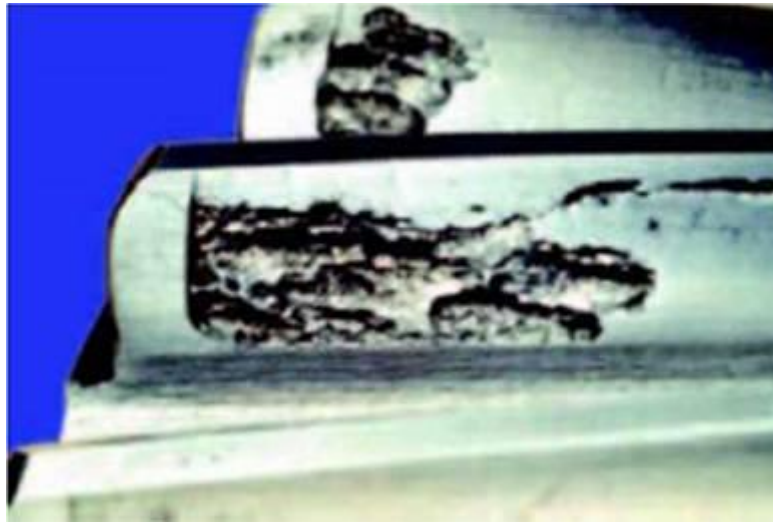


Figura 5.9: Deterioro superficial en el flanco del diente

5.2.4. Proceso de cálculo

Con el objetivo de evitar fallos en los piñones del elevador como los mencionados anteriormente, los cálculos se van a centrar en determinar el valor del ancho de cara de los dientes y el material del que deben estar hechos los piñones. Al optimizar el ancho de cara de los dientes se minimizan los problemas de alineamiento y se asegura que haya una distribución de carga razonable en toda la cara. Los pasos que seguirá el documento para realizar los cálculos, una vez conocido el valor de la fuerza tangencial, estarán basados en los indicados por la normativa AGMA y serán los siguientes:

- I. Determinar la fuerza tangencial.
- II. Calcular el esfuerzo por flexión, dejándolo en función del ancho de cara (b).
- III. Calcular el esfuerzo por flexión admisible, dejándolo en función de la resistencia a flexión (S_t).
- IV. Calcular el esfuerzo de contacto, dejándolo en función del ancho de cara (b).
- V. Calcular el esfuerzo de contacto admisible, dejándolo en función de la resistencia a fatiga (S_c).
- VI. Iterar valores del ancho de cara para obtener el material óptimo que deben tener los piñones.

Dado que los dos piñones motores son exactamente iguales, en el apartado solo se calcularán los resultados de uno de ellos.

5.2.4.1. Fuerza tangencial

Se va a explicar cómo se produce la transmisión de carga de un engranaje de dientes rectos para determinar la fuerza tangencial que sufre cada uno de los dientes, este valor será necesario para realizar los cálculos posteriores.

Primeramente, se explicará en que consiste el **proceso de transmisión** y que supone para el engranaje. La transmisión se produce cuando un piñón 1 gira en una dirección, moviendo al piñón 2 y produciendo una reacción cuya dirección es la línea de engrane entre los dos piñones. En el caso de este proyecto el piñón es el que realiza el movimiento sobre la cremallera.

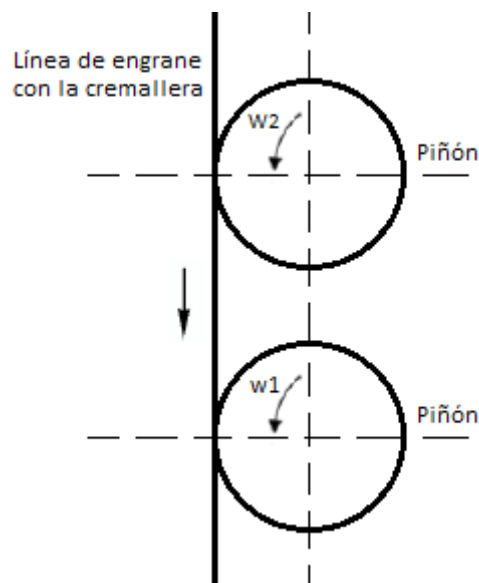
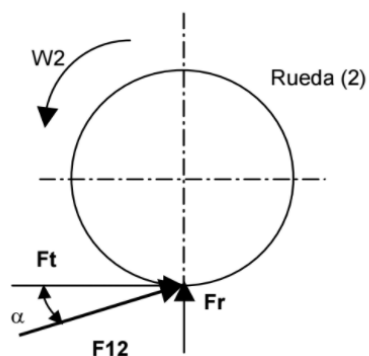


Figura 5.10: Línea de engrane con cremallera

La fuerza aplicada en la dirección de la línea de engrane se divide en dos componentes en el caso de los engranajes de diente recto: **la fuerza radial y la fuerza tangencial**.



F_r : Fuerza radial

F_t : Fuerza tangencial

$$F_r = F_t \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

$$F = \sqrt{F_r^2 + F_t^2}$$

Figura 5.11: Descomposición de las fuerzas

Es fundamental hallar el valor de la componente tangencial ya que está directamente relacionada con la potencia que transmite el motor. Esta potencia se mantiene constante a lo largo de la transmisión ya que no se variará la velocidad de desplazamiento de la cabina. (Esto es cierto, pero está incompleto ya que la velocidad de la cabina si variará en las arrancadas y frenadas debido al **variador** de los motores, el cual evita que se detenga o se ponga la cabina en marcha bruscamente).

La relación entre la fuerza tangencial y la potencia se halla relacionando las siguientes fórmulas:

$$W = T \cdot n$$

$$T = r \cdot F_t$$

$$F_t = \frac{W}{r \cdot n}$$

W: Potencia transmitida

T: Par motor

n: velocidad de giro

r: radio primitivo

Utilizando la fórmula derivada e introduciendo los datos a potencia máxima que ya poseemos obtenemos la F_t del piñón:

$$F_t = \frac{W}{r \cdot n} = \frac{6350}{0,06 \cdot \frac{36 \cdot 2\pi}{60}} = 28073,16 \text{ N}$$

5.2.4.2. Seguridad a fallo en la base del diente

En este sub-apartado se seguirá el procedimiento de la normativa AGMA para fallo por rotura en la base del diente. Primero se hallará el valor del esfuerzo a flexión, después se hallará el esfuerzo admisible y para finalizar, se relacionarán ambos para comprobar si cumplen el criterio de seguridad.

Tensión de flexión

$$\sigma = \frac{K_a \cdot K_m \cdot K_s}{K_v} \cdot \frac{F_t}{b \cdot J \cdot m}$$

Tensión de flexión admisible

$$\sigma_{adm} = \frac{S_T \cdot K_L}{K_T \cdot K_R}$$

Seguridad

$$n = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma}$$

Figura 5.12: AGMA base del diente

a) Esfuerzo a flexión en la base del diente

El esfuerzo a flexión es la tensión máxima necesaria para que ocurra el fallo, y se obtiene de la siguiente fórmula:

$$\sigma_f = \frac{K_a \cdot K_m \cdot K_s}{K_v} \cdot \frac{F_t}{b \cdot J \cdot m}$$

Donde:

K_a : Factor de aplicación

K_m : Factor de distribución de la carga

K_s : Factor de tamaño

K_v : Factor dinámico

F_t : Fuerza tangencial

b : Ancho de cara

J : Factor geométrico

m : Módulo

A continuación, se detallarán cada una de las variables agrupándolas en función de las características que les determinan:

I. Variables de las cargas

 K_a : Factor de aplicación

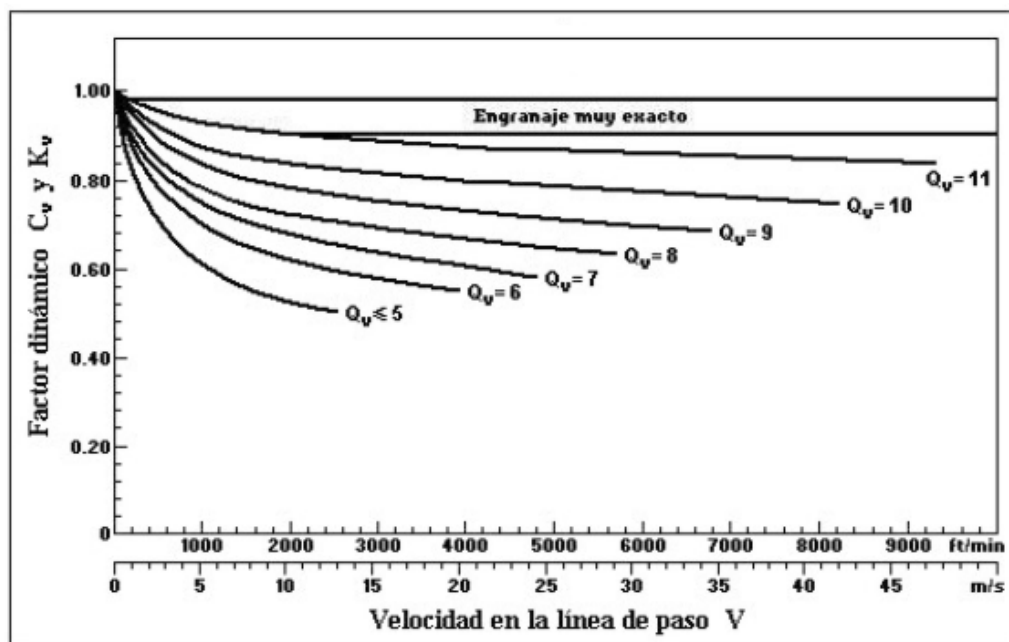
El factor de aplicación es un coeficiente que tiene como finalidad tomar en cuenta todas las cargas que se aplican de manera externa en exceso de la carga tangencial. Con este factor se analiza la carga de la máquina impulsada en función de la fuente de energía, es decir, intenta compensar el efecto que se produce cuando la carga real es mayor que la fuerza tangencial. El motor utilizado es eléctrico, por lo tanto, escogemos carga uniforme y choque de la fuente de energía ligero.

FUENTE DE ENERGÍA	CARGA EN LA MÁQUINA IMPULSADA		
	Uniforme	Choque Moderado	Choque Fuerte
Uniforme	1.00	1.25	1.75 o superior
Choque Ligero	1.25	1.50	2.00 o superior
Choque Mediano	1.50	1.75	2.25 o superior

Tabla 5.4: Factor de aplicación (K_a) **K_v : Factor dinámico**

Este coeficiente tiene en cuenta las sobrecargas dinámicas internas producidas por las vibraciones que sufre el engranaje o la fricción entre los dientes. Depende del valor que se le atribuya al coeficiente Q_v de la normativa AGMA.

Para hallar el valor del coeficiente se emplea normalmente el siguiente gráfico, en función del coeficiente Q_v :

Figura 5.13: K_v a velocidades altas

Sin embargo, las normas de la AGMA, ANSI/AGMA 2001-D04 y 2101-D04 en su última versión han revisado el valor de este coeficiente ^[13]:

“El factor dinámico K_v se ha redefinido como el recíproco del que se utilizaba en las anteriores normas AGMA. Ahora es mayor que 1.0. En normas AGMA anteriores era menor que 1.0.”

Por lo tanto, se empleará la siguiente ecuación del S.I:

$$K_v = \frac{6,1+v}{6,1}; \quad v \text{ en m/s}$$

Sabiendo que la velocidad a la que se mueve el montacargas es de 0,2 m/s, el valor del factor dinámico es $K_v = 1,033$.

II. Forma del diente

K_m : Factor de distribución de la carga

Este factor refleja la distribución no uniforme de la carga a lo largo de la línea de contacto. Depende de las variaciones de la distribución de carga debido a la desalineación de los ejes de la rotación, de los errores en los perfiles del diente, de las desviaciones en el avance y de las deflexiones estáticas.

Este factor es el que debe estimar ya que, en función del ancho de cara, que es el valor que debemos obtener. Se estima para esta aplicación un valor de ancho de cara menor de 50mm y montaje exacto, lo que nos da un valor del coeficiente de $K_m=1,3$.

CONDICIÓN DE SOPORTE	ANCHO DE CARA in (mm)			
	≤ 2 (50)	6 (150)	9 (225)	≥ 16 (400)
Montaje exacto, bajas holguras de cojinetes, deflexiones mínimas, engranes de precisión	1.30	1.40	1.50	1.80
Montajes menos rígidos, engranes menos precisos, contacto a todo lo ancho de cara	1.60	1.70	1.80	2.0
Exactitud y montaje de modo que exista contacto incompleto con la cara			>2.0	

Tabla 5.5: Factor de distribución de carga (K_m)

K_s : Factor de tamaño

El objetivo del factor de tamaño es considerar una posible falta de uniformidad en las propiedades del material. Este coeficiente lo establece la norma AGMA como la unidad si la elección previa del acero que compone la estructura a analizar es adecuada al

tamaño de la pieza y los tratamientos posteriores han sido eficaces. Por lo tanto, el valor que se empleará es $K_s = 1$.

J: Factor geométrico

Este coeficiente introduce la influencia de la forma del diente, la posición en la cual es aplicada la carga más dañina potencialmente y los efectos de concentración de tensiones que dependen de la geometría.

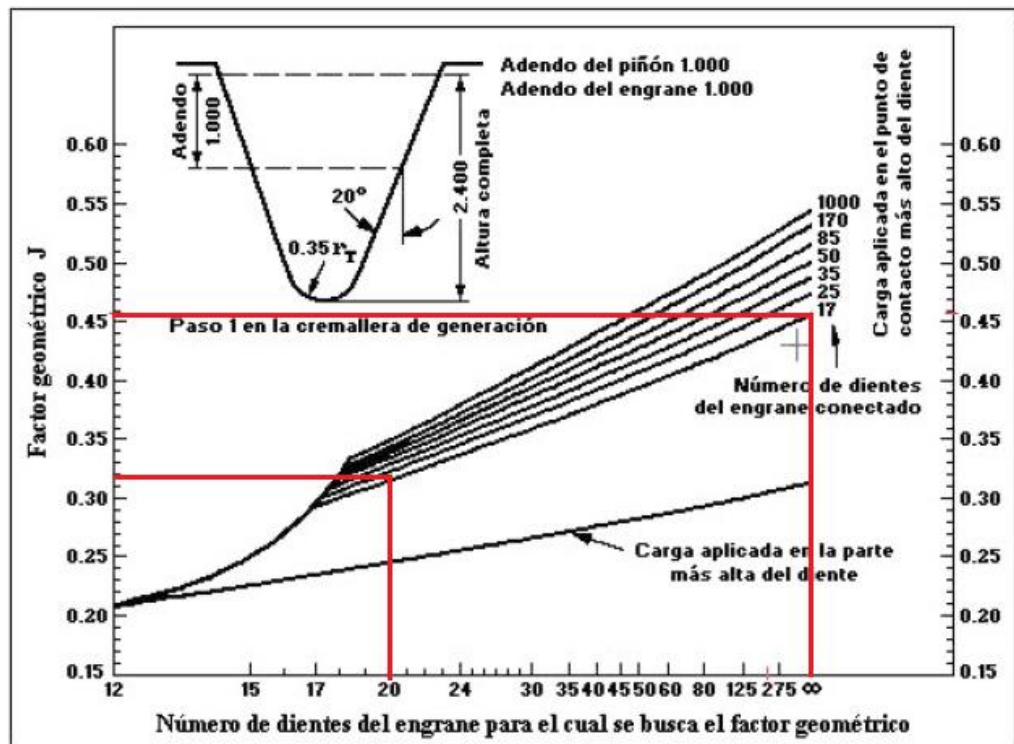


Figura 5.14: Factor geométrico

La cremallera y el piñón poseen factores geométricos distintos ya que no tienen el mismo número de dientes. Para el piñón, que tiene 20 dientes, su factor geométrico es $J = 0,32$. Por otro lado, a la cremallera se le supondrá radio infinito y por lo tanto no de dientes infinito para obtener un valor más crítico, así que su factor geométrico es $J = 0,46$.

Una vez obtenidos los valores de todos los factores del esfuerzo a flexión, se calculará este. En el caso del piñón, al no saber su ancho de cara se quedará en función de este.

$$\sigma_{f\text{cremallera}} = 400,01 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{f\text{piñón}} = \frac{16.000,56}{b} \text{ MPa}$$

b) Esfuerzo admisible en la base del diente

El esfuerzo a flexión admisible es la tensión máxima que admite el material antes de que ocurra el fallo, y se obtiene de la siguiente fórmula:

$$\sigma_{adm} = \frac{S_T \cdot K_L}{K_T \cdot K_R}$$

Donde:

S_T : Resistencia a flexión

K_L : Factor de duración

K_T : Factor de temperatura

K_R : Factor de confiabilidad

A continuación, se detallarán cada una de las variables y las formas de obtenerlas:

 S_T : Resistencia a flexión

Es una propiedad del material y se asigna por ensayo. Solo es válida para engranajes.

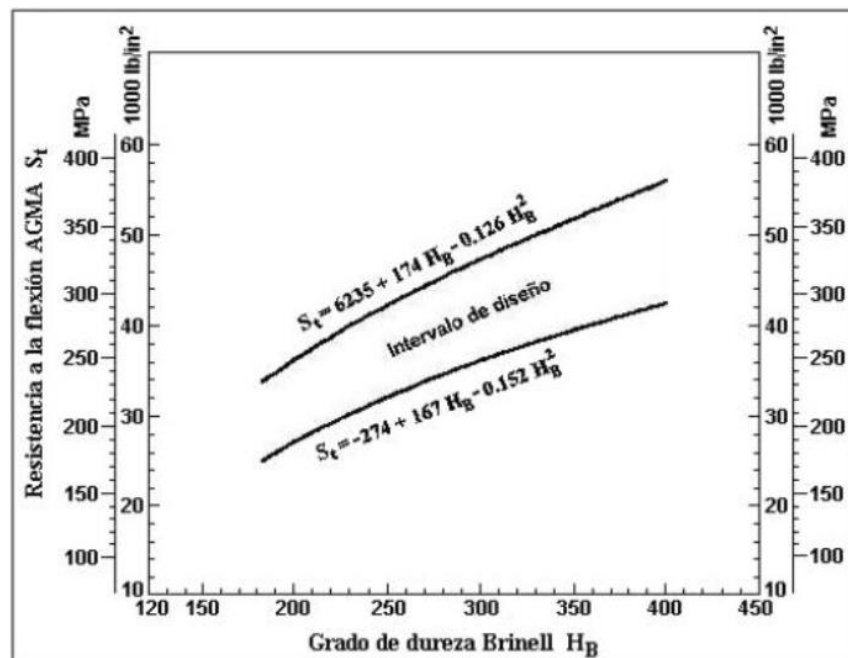


Figura 5.15: Resistencia a flexión

Este coeficiente se calcula una vez se sepa el grado de dureza del material, por lo que el **esfuerzo admisible del piñón se dejará en función de este coeficiente** para hallar el material más óptimo.

En cambio, para la **cremallera** se supondrá la situación más desfavorable por lo que se utilizará la línea inferior del intervalo de diseño. Aplicando la fórmula para una dureza de 432HB, se obtiene:

$$S_T = -274 + 167 \cdot 432 - 0,152 \cdot 432^2 = 43503,152 \frac{lb}{in^2} \approx 300 MPa$$

K_L : Factor de duración

Este factor es complicado de calcular, ya que varía su valor en función del número de ciclos de vida del elemento. La normativa AGMA indica que el número de ciclos de carga estándar es de 10^7 ciclos, por lo que es el que se usará en este guion para mantener una coherencia en las normativas usadas.

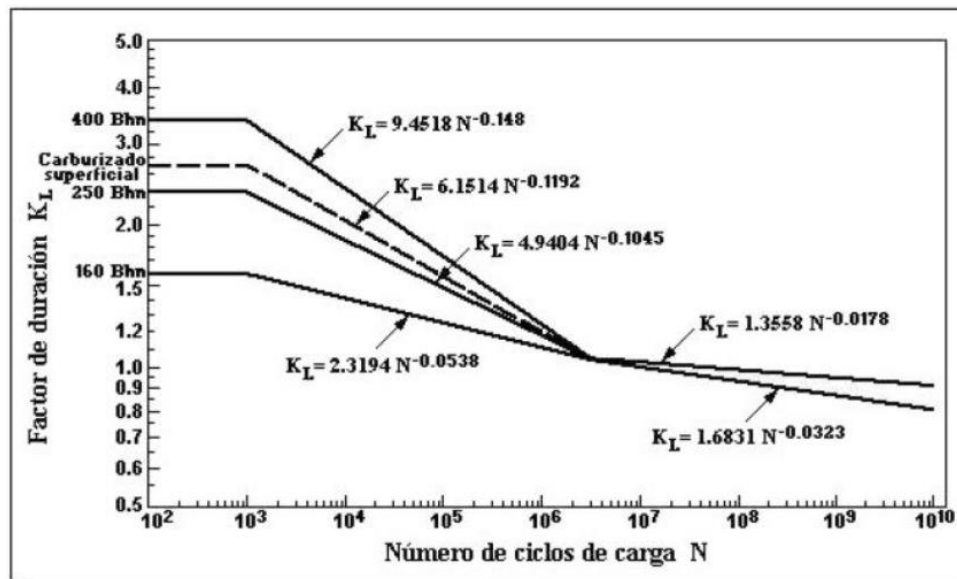


Figura 5.16: Factor de vida o duración

Para 10^7 ciclos de carga obtenemos un valor mínimo y un valor máximo, los cuales están en función de la limpieza, esfuerzos residuales, la tenacidad y la ductilidad entre otros factores. Al no hacer mención en la normativa AGMA al uso de ninguno principalmente se hallará un valor medio para el valor de K_L del piñón:

$$K_{Lmin}(10^7 \text{ ciclos}) = 1,6831 \cdot N^{-0,0323} = 1$$

$$K_{Lmax}(10^7 \text{ ciclos}) = 1,3558 \cdot N^{-0,0178} = 1,018$$

$$K_{Lmed}(10^7 \text{ ciclos}) = 1,009$$

En cuanto a la cremallera, la normativa estima un valor de $1,5 \cdot 10^5$ ciclos. Entrando en la gráfica con ese valor, se obtiene un coeficiente:

$$K_{Lcre}(1,5 \cdot 10^5 \text{ ciclos}) = 1,553$$

K_T : Factor de temperatura

Este coeficiente se emplea para corregir la variación que sufre el esfuerzo admisible en función de la temperatura del aceite lubricante usado. Para temperaturas de hasta 121 °C, su valor es igual a la unidad.

En este caso no se considera que el lubricante empleado en los piñones del elevador vaya a superar los 121°C, por lo tanto:

$$K_T = 1$$

K_R : Factor de confiabilidad

Este factor tiene en cuenta el efecto de las distribuciones estadísticas normales de los fallos por fatiga del material. La normativa AGMA emplea una confiabilidad del 99%.

CONFIABILIDAD (%)	FACTOR K_R y C_R
90	0.85
99	1.00
99.9	1.25
99.99	1.50

Tabla 5.6: Factor de confiabilidad (K_R)

El factor de confiabilidad empleado va a ser: $K_R = 1$.

Una vez obtenidos los valores de todos los factores del esfuerzo a flexión admisible, se calculará este. En el caso del piñón, al no saber su resistencia a flexión se quedará en función de este.

$$\sigma_{fadmcremallera} = 465,9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{fadm\pi\pi\pi\pi\pi\pi} = 1,009 \cdot S_T \text{ MPa}$$

c) Coeficiente de seguridad

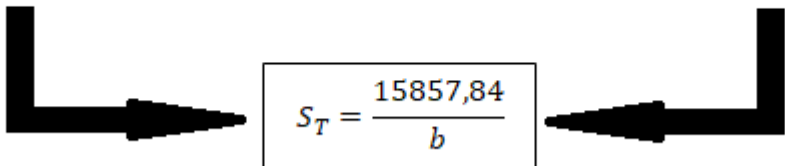
Para hallar finalmente la relación de los esfuerzos con el coeficiente de seguridad se aplicará la siguiente ecuación:

$$n = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma} > 1$$

Esto se realiza para garantizar la seguridad del engrane, ya que por debajo de la unidad este rompe. Una vez hechos los cálculos anteriores para obtener los valores de ambas tensiones se relacionarán para obtener un coeficiente de seguridad lo más alto posible.

En el caso del **piñón**, se pretende obtener la resistencia a flexión (S_T). Para ello se dejará en función del ancho de cara (b), valor con el cual se iterará posteriormente para obtener unos resultados más óptimos.

$$\sigma_{fadm\piñón} = 1,009 \cdot S_T \qquad \sigma_{f\piñón} = \frac{16.000,56}{b}$$



$$S_T = \frac{15857,84}{b}$$

Figura 5.17: Resistencia a flexión

En cuanto a la **cremallera**, tan solo basta con sustituir los dos valores obtenidos de tensión admisible y máxima para comprobar si su factor de seguridad ante rotura en la base del diente es mayor de la unidad:

$$n = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma} = \frac{465,9}{400,01} = 1,165 > 1$$

Al ser mayor que la unidad se puede afirmar que **la cremallera aguanta** y no se producirá el fallo por fatiga. Por lo tanto, no se tendrá que realizar ningún cálculo en el siguiente subapartado.

5.2.4.3. Seguridad ante fallo por deterioro superficial en los flancos de los dientes

En este sub-apartado se seguirá el procedimiento de la normativa AGMA para fallo por deterioro superficial en los flancos de los dientes. Primero se hallará la tensión de contacto, después la tensión de contacto admisible y para finalizar, se relacionarán ambos valores para comprobar si cumplen el criterio de seguridad.

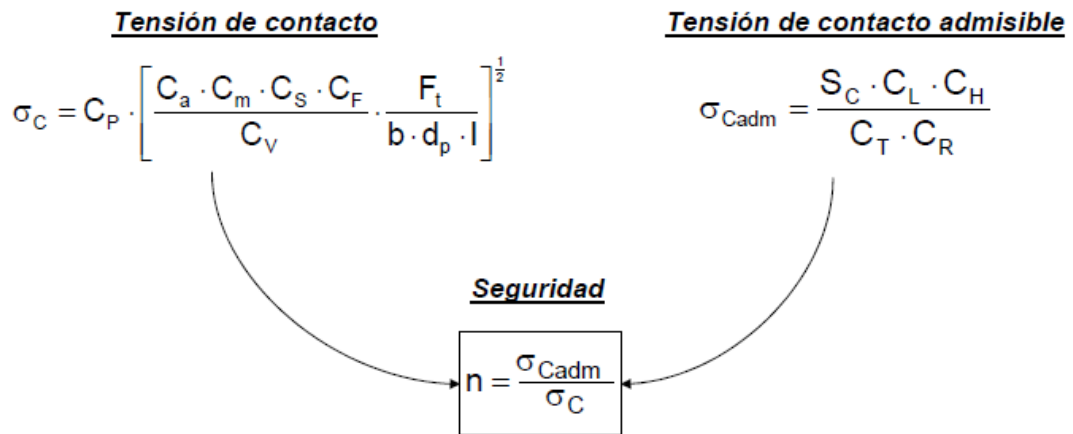


Figura 5.18: AGMA flanco del diente

a) Esfuerzo de contacto

El esfuerzo de contacto es la tensión que sufre el diente en el flanco, sigue la normativa AGMA y se obtiene de la siguiente fórmula:

$$\sigma_c = C_P \cdot \left[\frac{C_a \cdot C_m \cdot C_S \cdot C_F}{C_V} \cdot \frac{F_t}{b \cdot d_p \cdot I} \right]^{1/2}$$

Donde:

C_P : Coeficiente elástico [MPa]

$C_a = K_a$: Factor de aplicación para esfuerzo de contacto

$C_m = K_m$: Factor de distribución de carga

$C_S = K_S$: Factor de tamaño para esfuerzo de contacto

C_F : Factor de estado o condición de superficie

$C_V = K_V$: Factor dinámico

F_t : Fuerza tangencial

b : Ancho de cara

d_p : Diámetro primitivo [mm]

I : Factor geométrico

Los factores C_a , C_m , C_s , C_v y F_t son factores ya conocidos por haberlos empleado en el anterior apartado, por lo tanto, se recogerán los mismos valores que se utilizaron antes:

$$C_a = K_a = 1,25$$

$$C_m = K_m = 1,3$$

$$C_s = K_s = 1$$

$$C_v = K_v = 1,033$$

$$F_t = 28073,16 \text{ N}$$

C_p : Coeficiente elástico

Este coeficiente depende de los módulos de Young y de Poisson, y de las superficies de acuerdo curvadas de los dientes.

MATERIAL DEL PIÑÓN	MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL PIÑÓN lb/in ² (MPa)	MATERIAL Y MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL ENGRANE O RUEDA lb/in ² (MPa)					
		Acero	Hierro Maleable	Hierro Nodular	Hierro Fundido	Bronce de Aluminio	Bronce de Estaño
		30×10 ⁶ (2×10 ⁵)	25×10 ⁶ (1.7×10 ⁵)	24×10 ⁶ (1.7×10 ⁵)	22×10 ⁶ (1.5×10 ⁵)	17.5×10 ⁶ (1.2×10 ⁵)	16×10 ⁶ (1.1×10 ⁵)
Acero	30×10 ⁶ (2×10 ⁵)	2300 (191)	2180 (181)	2160 (179)	2100 (174)	1950 (162)	1900 (158)
Hierro Maleable	25×10 ⁶ (1.7×10 ⁵)	2180 (181)	2090 (174)	2070 (172)	2020 (168)	1900 (158)	1850 (154)
Hierro Nodular	24×10 ⁶ (1.7×10 ⁵)	2160 (179)	2070 (172)	2050 (170)	2000 (166)	1880 (156)	1830 (152)
Hierro Fundido	22×10 ⁶ (1.5×10 ⁵)	2100 (174)	2020 (168)	2000 (166)	1960 (163)	1850 (154)	1800 (149)
Bronce de Aluminio	17.5×10 ⁶ (1.2×10 ⁵)	1950 (162)	1900 (158)	1880 (156)	1850 (154)	1750 (145)	1700 (141)
Bronce de Estaño	16×10 ⁶ (1.1×10 ⁵)	1900 (158)	1850 (154)	1830 (152)	1800 (149)	1700 (141)	1650 (137)

Tabla 5.7: Coeficiente elástico (C_p)

El material empleado para el engrane va a ser acero, por lo tanto, haciendo uso de la tabla obtenemos un valor del coeficiente elástico de:

$$C_p = 191 \text{ MPa}$$

C_F : Factor de estado o condición de superficie

Este coeficiente es superior a la unidad cuando existen defectos en el material y en el proceso de conformado de la pieza. Para conformar las piezas del elevador se deben hacer a prueba de defectos debido a que supone un riesgo para la salud de los ocupantes el hecho de que puedan fallar. Por lo tanto, se establecerá el valor del coeficiente como la unidad:

$$C_f = 1$$

 I : Factor geométrico

Tiene en cuenta la geometría del engrane, concretamente el radio de curvatura de los dientes del engrane y el ángulo de presión. El proceso de cálculo se realiza con la normativa AGMA, por lo tanto, utilizaremos la siguiente expresión:

$$I = \frac{\text{sen} \alpha \cdot \cos \alpha}{2 \cdot m_n} \cdot \frac{i}{i + 1}$$

Donde:

α : Ángulo de presión

m_n : Factor de compartición de carga. (La norma indica que en engranajes rectos es $m_n=1$)

i : Relación de velocidad

Por lo tanto, sustituyendo los datos en la ecuación el factor geométrico obtenido es:

$$I = 0,153$$

Una vez obtenidos los valores de todos los factores del esfuerzo de contacto, se calculará este.

$$\sigma_c = \frac{9146,32}{b^{1/2}}$$

b) Esfuerzo de contacto admisible

El esfuerzo de contacto admisible la tensión que soporta el material del diente en el flanco, sigue la normativa AGMA y se obtiene de la siguiente fórmula:

$$\sigma_{cadm} = \frac{S_C \cdot C_L \cdot C_H}{C_T \cdot C_R}$$

Donde:

S_C : Resistencia a fatiga

C_L : Factor de duración

C_H : Factor de dureza

$C_T = K_T$: Factor de temperatura

$C_R = K_R$: Factor de confiabilidad

Los factores C_T y C_R son factores ya conocidos por haberlos empleado en el anterior apartado, por lo tanto, se recogerán los mismos valores que se utilizaron antes:

$$C_T = 1$$

$$C_R = 1$$

 S_C : Resistencia a fatiga

En este ensayo, este es el coeficiente que se dejará en función del ancho de cara, igual que se hizo en el anterior apartado con la resistencia a flexión. Es una propiedad del material y se asigna por ensayo.

 C_L : Factor de duración

Este factor, al igual que K_L , varia su valor en función del número de ciclos de vida del elemento. La normativa AGMA indica que el número de ciclos estándar es de 10^7 ciclos, por lo que es lo que se usará al igual que en el apartado anterior con K_L .

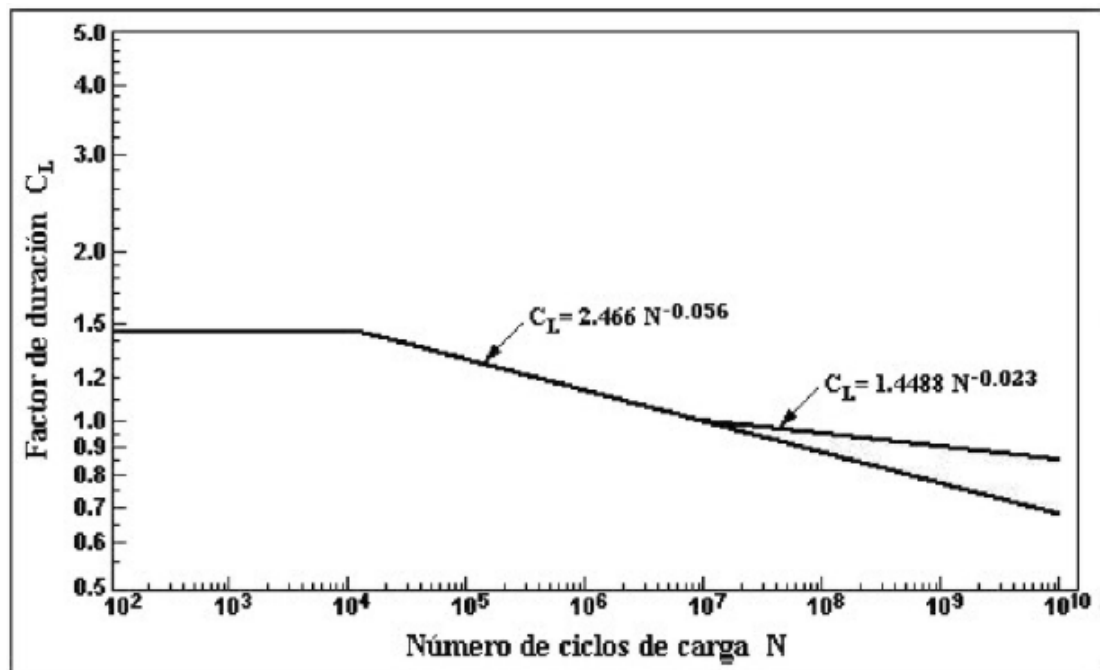


Figura 5.19: Factor de duración

Para 10^7 ciclos de carga obtenemos un valor mínimo y un valor máximo como en el apartado anterior, por lo que haremos una media entre estos valores:

$$C_{Lmin}(10^7 \text{ ciclos}) = 2,466 \cdot N^{-0,056} = 1$$

$$C_{Lmax}(10^7 \text{ ciclos}) = 1,4488 \cdot N^{-0,023} = 1$$

$$C_{Lmed}(10^7 \text{ ciclos}) = 1$$

C_H : Factor de dureza

Este coeficiente relaciona la dureza en los miembros del engrane. Se utiliza cuando el engrane se realiza entre una rueda y un piñón.

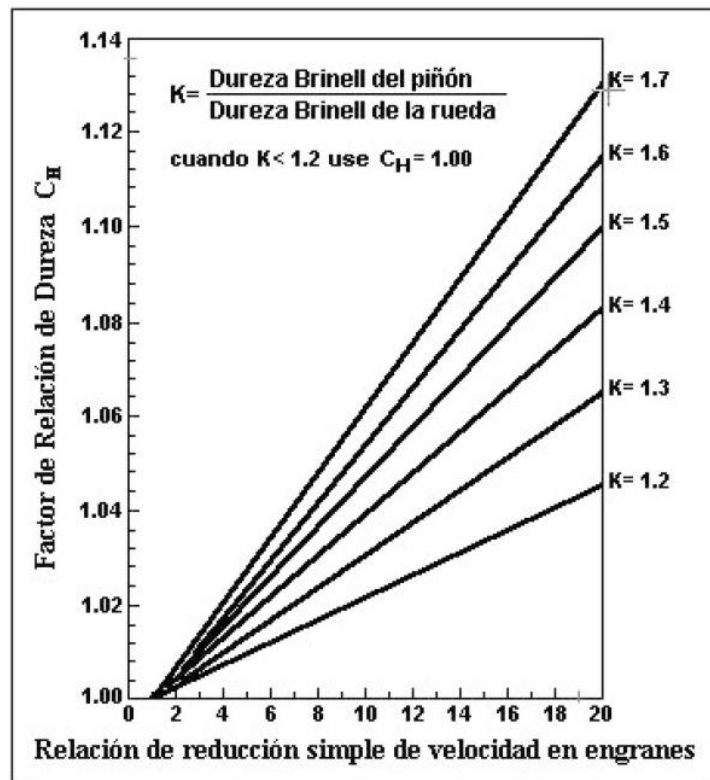


Figura 5.20: Factor de dureza

En este caso, al tratarse de un piñón y una cremallera no es necesario utilizar la tabla. El valor del factor de dureza es:

$$C_H = 1$$

Una vez obtenidos los valores de todos los factores del esfuerzo de contacto admisible, se calculará este.

$$\sigma_{cadm} = S_C$$

c) Coeficiente de seguridad

Para hallar finalmente la relación de los esfuerzos de contacto con el coeficiente de seguridad se aplicará la siguiente ecuación:

$$n = \frac{\sigma_{cadm}}{\sigma_c}$$

Esto se realiza para garantizar la seguridad del engrane, ya que por debajo de la unidad este rompe. Una vez hechos los cálculos anteriores para obtener los valores de ambas tensiones se relacionarán para obtener un coeficiente de seguridad lo más alto posible. Se pretende obtener la resistencia a fatiga (S_C). Para ello se dejará en función del ancho de cara (b), valor con el cual se iterará posteriormente para obtener unos resultados óptimos.

$$\sigma_{cadm} = S_c$$

$$\sigma_c = \frac{9146,32}{b^{1/2}}$$

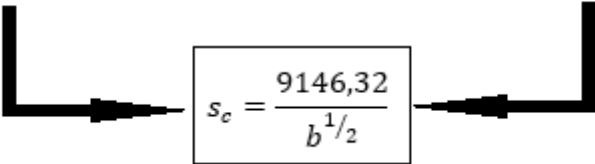
$$s_c = \frac{9146,32}{b^{1/2}}$$


Figura 5.21: Resistencia a fatiga del diente

5.2.4.4. Resultados

En este apartado se mostrarán los resultados tras haber realizado los cálculos tanto para rotura en la base del diente como para rotura en el flanco.

En el apartado de normativa se indicó que se debe realizar un engrane en el que toda la superficie del diente esté engranada, por lo tanto, **se tomará el ancho de cara de la cremallera como referencia** para realizar las iteraciones de los valores de las resistencias.

En el modelo tridimensional se ha empleado un piñón de ancho de diente $b=55\text{mm}$, se comprobará si esta envergadura cumple con las condiciones de seguridad y si se podría mejorar.

AGMA ha publicado en su normativa los valores de algunos materiales que se emplean en la construcción de engranajes para poder hallar el valor de la resistencia a fátiga superficial (S_c) y la resistencia a flexión (S_T). Estos valores están recogidos en las dos siguientes tablas:

TABLA 11-20 Resistencias a la fatiga por fricción S_{fb}' de AGMA para una selección de materiales de engrane*						
Material	Clase AGMA	Designación del material	Tratamiento térmico	Dureza superficial mínima	Resistencia a la fatiga por flexión	
					psi x 10^3	MPa
Acero	A1-A5		Endurecido en la masa	≤ 180 HB	25-33	170-230
			Endurecido en la masa	240 HB	31-41	210-280
			Endurecido en la masa	300 HB	36-47	250-325
			Endurecido en la masa	360 HB	40-52	280-360
			Endurecido en la masa	400 HB	42-56	290-390
			Endurecido con llama o por inducción	Patrón de tipo A 50-54 HRC	45-55	310-380
		AISI 4140 AISI 4340 Nitralloy 135M Nitralloy N Cromo al 2.5%	Endurecido con llama o por inducción	Patrón de tipo B	22	150
			Carburizado y cementado	55-64HRC	55-75	380-520
			Nitrurizado	84.6 15N	34-45	230-310
			Nitrurizado	83.5 15N	36-47	250-325
			Nitrurizado	90.0 15N	38-48	260-330
			Nitrurizado	90.0 15N	40-50	280-345
			Nitrurizado	87.5-90.0 15N	55-65	380-450

Tabla 5.8: Resistencia a fatiga por flexión

Resistencias S_{fc}' a la fatiga superficial AGMA para una selección de materiales de engranes*						
Material	Clase AGMA	Designación del material	Tratamiento térmico	Dureza superficial mínima	Resistencia a la fatiga por flexión	
					psi x 10 ³	MPa
Acero	A1-A5		Endurecido en la masa	≤ 180 HB	85-95	590-660
			Endurecido en la masa	240 HB	105-115	720-790
			Endurecido en la masa	300 HB	120-135	830-930
			Endurecido en la masa	360 HB	145-160	1000-1100
			Endurecido en la masa	400 HB	155-170	1100-1200
			Endurecido con llama o por inducción	50 HRC	170-190	1200-1300
		AISI 4140	Endurecido con llama o por inducción	54 HRC	175-195	1200-1300
			Carburizado y cementado	55-64HRC	180-225	1250-1300
			Nitrurizado	84.6 15N	155-180	1100-1250
			Nitrurizado	83.5 15N	150-175	1050-1200
			Nitrurizado	90.0 15N	170-195	1170-1350
			Nitrurizado	90.0 15N	195-205	1340-1410
Hierro fundido	20	Clase 20	Como está fundido		50-60	340-410
		Clase 30	Como está fundido	175 HB	65-70	450-520
		Clase 40	Como está fundido	200 HB	75-85	520-590
Hierro nodular (dúctil)	A-7-a	60-40-18	Recocido	140 HB	77-92	530-630
	A-7-c	80-55-06	Templado y revenido	180 HB	77-92	530-630
	A-7-d	100-70-03	Templado y revenido	230 HB	92-112	630-770
	A-7-e	120-90-02	Templado y revenido	230 HB	103-126	710-870
Hierro maleable (perlítico)	A-8-c	45007		165 HB	72	500
	A-8-e	50005		180 HB	78	540
	A-8-f	53007		195 HB	83	570
	A-8-i	80002		240 HB	94	650
Bronce	Bronce 2	AGMA 2C	Fundición en arena	Resistencia a la tensión 40 ksi mínima	30	450
	Al/Br 3	Aleación ASTM B-148 78 954	Con tratamiento térmico	Resistencia a la tensión 90 ksi mínimo	65	450

Tabla 5.9: Resistencia a fatiga superficial

a) Iteraciones

Dado que partimos de un ancho de cara de $b=40$ mm, se realizarán aumentos de 1mm en las iteraciones para buscar los valores óptimos de las resistencias. A continuación, se muestra una tabla con las iteraciones realizadas:

Ancho de cara b[mm]	S_T [MPa]	S_C [MPa]
40	396,45	1446,16
41	386,78	1428,41
42	377,57	1411,30
43	368,79	1394,80
44	360,40	1378,86
45	352,39	1363,45
46	344,73	1348,55
47	337,40	1334,13
48	330,37	1320,16
49	323,63	1306,62
50	317,16	1293,48
51	310,93	1280,74
52	304,96	1268,37
53	299,20	1256,34
54	293,66	1244,66
55	288,32	1233,29

Tabla 5.10: Iteraciones del ancho de cara

b) Elección

Durante el desarrollo tridimensional de la estructura se eligió un ancho de cara para los piñones motores de 55 mm. Este tamaño fue elegido debido a que las empresas del sector suelen utilizarlo para elevadores de 2000 Kg de carga.

Para ver que material es más óptimo para este ancho de cara se tiene que ir a las tablas adjuntas anteriormente una vez se han calculado los valores de las resistencias para este ancho. El material obtenido para un ancho de cara de 55 mm es el siguiente:

Material	Clase AGMA	Tratamiento térmico	Dureza superficial mínima	Resistencia a la fatiga por flexión (S_T)	Resistencia a la fatiga superficial (S_C)
Acero	A1-A5	Nitrurizado	84.6 15N	230-310	1100-1250

Tabla 5.11: Propiedades del material escogido

Las resistencias máximas obtenidas por medio del proceso de cálculo de este apartado se acercan al límite superior de las resistencias que aporta la normativa, por lo tanto, **se acepta** este material y es el que se utilizará para realizar el engrane.

Dado que le piñón engrana directamente con la cremallera es lógico que el valor del ancho de cara del piñón sea más grande que el que se le asigna a esta para soportar todas las exigencias antes mencionadas.

5.3. Bastidor

Este punto se va a centrar en el análisis de los diferentes casos de carga aplicados sobre el bastidor de la cabina mediante el **método de elementos finitos** de SolidWorks y comprobar si la estructura realizada y el material elegido (Acero S275) cumplen con la normativa.

No se van a analizar los bastidores anexos debido a que no van a soportar más carga que el paso de los operarios a la hora de realizar tareas de carga y descarga, en cuyo caso el elevador llevará equipada la trampilla grande abatible para hacer de apoyo rígido y soporte con el suelo del piso en el que se pretende realizar la tarea.

Aun así, los cálculos se realizarán con una carga nominal de 2000 Kg que tiene en cuenta los 1500 Kg de la M.M.A. y los 500 Kg estimados de los dos módulos extensibles.

5.3.1. Normativa aplicada

En este apartado se va a proceder a estudiar y explicar de manera justificada la estructura del bastidor del elevador. Para ello se va a utilizar la norma UNE-EN 12159 para elevadores de obra, más concretamente a partir de su apartado 5.2, combinaciones de carga y cálculos.

En este documento se pretende realizar los cálculos de resistencia de la cabina, por lo que se calcularán los estados de carga I, II y IV.

5.3.2. Base de cálculo

Para realizar los cálculos se empleará el módulo de Simulación por elementos finitos del programa SolidWorks. El análisis ha seguido los siguientes pasos:

1. Introducción en la biblioteca de SolidWorks de los diferentes tipos de vigas que deben emplearse en el conformado de la estructura.
2. Modelización 3D de la base del bastidor mediante el módulo de elementos soldados de SolidWorks gracias a los perfiles de viga introducidos previamente.
3. Introducción del material que conforma las diferentes vigas de la estructura, acero estructural S275.
4. Definición de las condiciones de contorno mediante el módulo de análisis del programa SolidWorks.
5. Introducción de todas las cargas actuantes sobre el bastidor siguiendo la normativa UNE-EN 12159 5.2, además de la gravedad para establecer unas coordenadas de actuación para las fuerzas.
6. Mallado de los diferentes elementos de la estructura, intentando afinarlo al máximo que el programa permita con el objetivo de obtener unos resultados finales más limpios.
7. Ejecución del cálculo.

8. Análisis de los diferentes resultados obtenidos, observando la tensión máxima y los coeficientes de seguridad aportados por la norma.

5.3.3. Modelo geométrico

La base del bastidor está conformada en su totalidad por diferentes perfiles de acero estructural S275. Los perfiles sobre los que se asienta las paredes de la cabina son tubos rectangulares de 100x40x4mm. La malla de la base está formada por tubos rectangulares de 80x40x4mm. Los dos largueros centrales son UPN de 150x50x5mm y sus travesaños interiores son tubos rectangulares de 140x40x4mm.

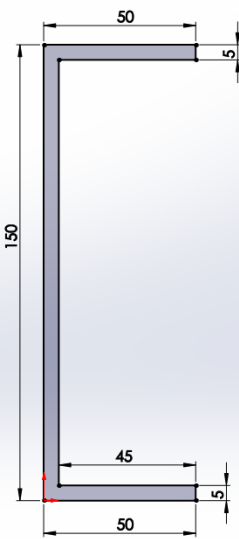
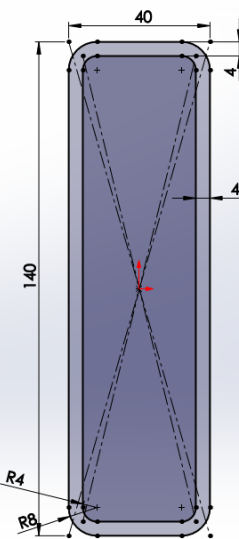
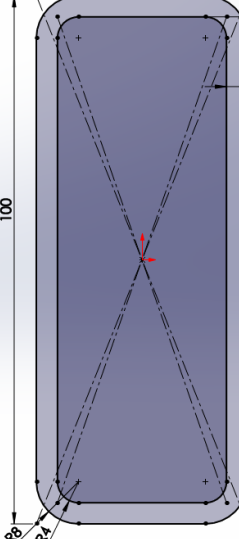
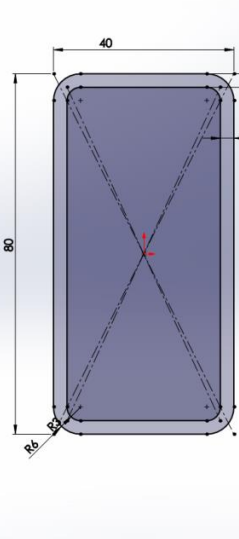
Tipos de perfil			
Tipo C	Tubo rectangular		
150x50x5	140x40x4	100x40x4	80x40x3
			

Tabla 5.12: Perfiles del bastidor

Las dimensiones totales de la base son 3000x1540 y tiene un panel contrachapado antideslizante a modo de suelo. Todas las piezas salvo el suelo están soldadas y la base a su vez está soldada al bastidor del grupo motor en su parte posterior.

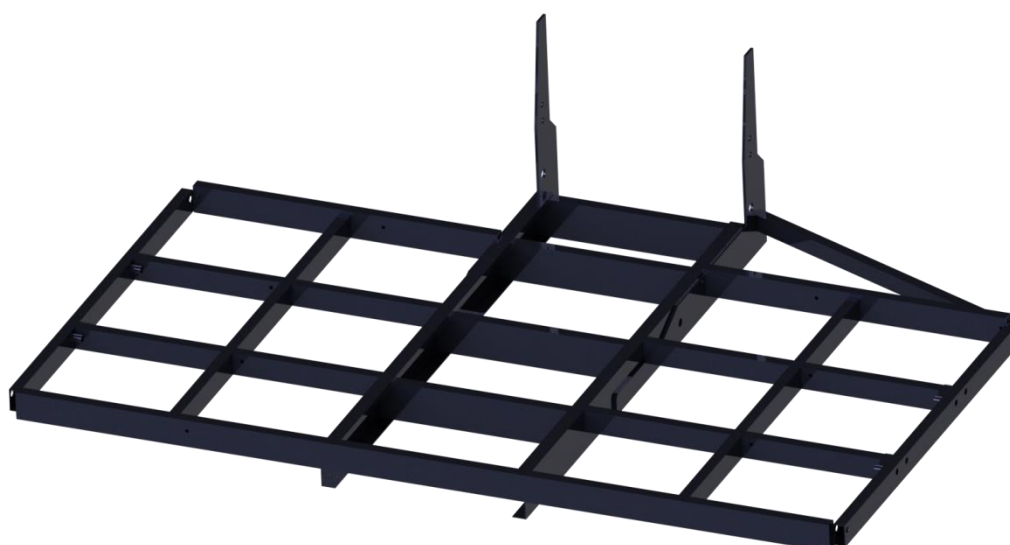


Figura 5.22: Bastidor

5.3.4. Material

El material empleado para conformar la base del bastidor es acero estructural S275, cuyas propiedades están indicadas en el programa SolidWorks:

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	210000.0031	N/mm ²
Coeficiente de Poisson	0.28	N/D
Módulo cortante	79000	N/mm ²
Densidad de masa	7800	kg/m ³
Límite de tracción	410	N/mm ²
Límite de compresión		N/mm ²
Límite elástico	275	N/mm ²

Tabla 5.13: Propiedades del material

5.3.5. Condiciones de contorno

A la hora de establecer las condiciones de contorno de la base del bastidor, se debe tener en cuenta donde se realiza la unión entre el bastidor, el grupo motor y el mástil. En esos puntos es donde se establecen los empotramientos (unión rígida) en el módulo de análisis. Este punto es fundamental para obtener unos resultados óptimos, ya que una mala colocación de las condiciones de contorno supone imprecisiones en el posterior cálculo y resultados.

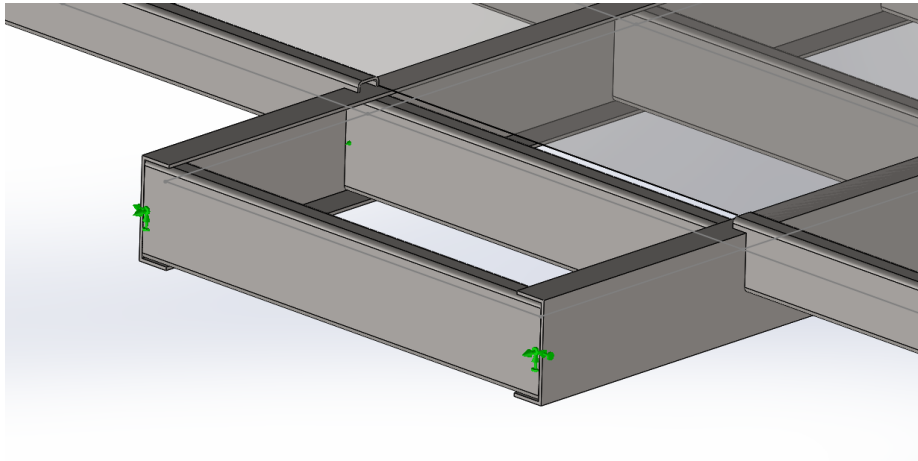


Figura 5.23: Condiciones de contorno

5.3.6. Cargas actuantes

Siguiendo la normativa UNE-EN 12159 5.2 se van a calcular las cargas actuantes sobre la base del bastidor. En este apartado de la normativa se indican que fuerzas pueden actuar y como se combinan. Además, se debe tener en cuenta la fuerza ejercida por la gravedad, la cual indica el sentido del peso de la estructura.

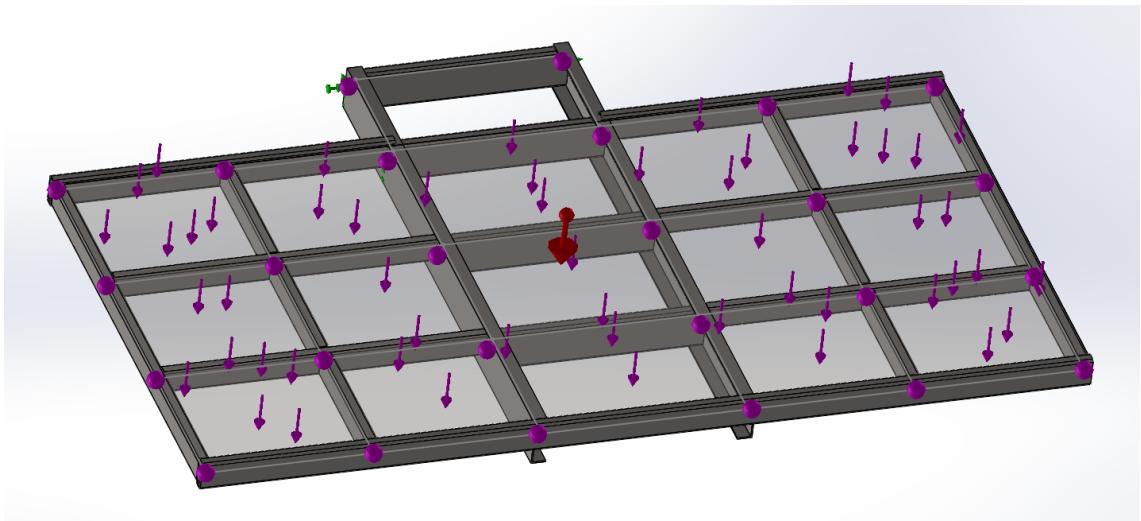


Figura 5.24: Cargas actuantes

A continuación, se van a explicar y desarrollar las fuerzas que actúan sobre la estructura del elevador según la normativa:

- **Peso muerto de la cabina descargada.** Este valor hace referencia al peso total de la cabina, teniendo en cuenta las puertas, portillas, techo y suelo.

$$P_M = 600 \text{ [Kg]} \cdot 10 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] = 7000 \text{ [N]}$$

- **Carga nominal.** La carga máxima que puede soportar el elevador durante el ascenso y el descenso, en este caso es de 2000 Kg.

$$C_N = 2000 [Kg] \cdot 10 \left[\frac{m}{s^2} \right] = 20000 [N]$$

- **Fuerzas generadas en la carga y la descarga.** Estas fuerzas son las que se generan durante el traspaso de carga entre el elevador y las diferentes plantas de la estructura. Se pueden expresar en cargas verticales y horizontales.

- **Cargas verticales.** Según normativa se establecen como un 50% de la carga nominal, para cargas inferiores a 20kN.

$$C_V = 2000 [Kg] \cdot 10 \left[\frac{m}{s^2} \right] \cdot 0,5 = 10000 [N]$$

- **Cargas horizontales.** Según normativa se establecen como un 20% de la carga nominal, para cargas inferiores a 2,5kN.

$$C_H = 2000 [Kg] \cdot 10 \left[\frac{m}{s^2} \right] \cdot 0,2 = 4000 [N]$$

- **Peso de las cargas móviles.** El efecto de las cargas móviles debe determinarse tomando el peso de las cargas reales (cabina, carga nominal, contrapeso, cables, etc..) y multiplicando por el coeficiente de impacto $\mu = 1,1 + 0,264 \cdot v$ donde v es la velocidad nominal en m/s, en nuestro caso 0.2 m/s.

$$\mu = 1,1 + 0,264 \cdot v = 1,153$$

$$P_{CM} = 1,153 \cdot (6000 [N] + 20000 [N]) = 29978 [N]$$

- **Fuerzas producidas por la actuación del dispositivo de seguridad de sobrevelocidad.** Esta carga es la suma total de la carga en movimiento por un coeficiente de 2,5. Un coeficiente menor pero no inferior a 1,2 puede utilizarse si el resto de ensayos cumplen, es decir, que el resto de coeficientes de igual o superior en el resto de casos. Lo estableceremos como 1,2 el factor en un principio, y si no cumplen el resto de casos se variará.

$$F_{DS} = 1,2 \cdot (6000 [N] + 20000 [N]) = 31200 [N]$$

- **Carga soportada por el techo.** El techo debe soportar una carga de 1,2 kN en su superficie.

$$C_T = 1200 [N]$$

- **Condiciones de diseño al viento.** En todos los casos debe asumirse que el viento sopla horizontalmente en cualquier dirección y debe considerarse la más desfavorable, en este caso es en movimiento.

Independientemente de la altura donde esté trabajando, se establece una velocidad de viento de $v=20\text{m/s}$ y un valor mínimo de presión producida por este de $q=250 \text{ N/m}^2$.

Para realizar los cálculos de la situación más desfavorable, esta presión se aplicará sobre la cara cuya superficie sea mayor:

$$C_V = 250 \left[\frac{N}{m^2} \right] \cdot (2,385 \cdot 3) [m^2] = 1788,75 [N]$$

A continuación, se muestra una tabla resumen con todas las cargas actuantes sobre la estructura:

Peso muerto de la cabina descargada		6000 [N]
Carga nominal		20000 [N]
Fuerzas generadas en carga y descarga	Cargas verticales	10000 [N]
	Cargas horizontales	4000 [N]
Cargas móviles		29978 [N]
Acción de los dispositivos de seguridad		31200 [N]
Carga soportada por el techo		1200 [N]
Carga del viento		1788,75 [N]

Tabla 5.14: Resumen de cargas actuantes

Una vez halladas las cargas que se aplican a la estructura, como esta es de acero es necesario comprobar posteriormente que se cumplen los coeficientes de seguridad aportados por la normativa, tabla 5.4.2. Estos varían en función del caso de carga en que nos encontremos, como podremos ver en la tabla 5.4.3.

Caso de carga	Coeficiente de seguridad (S_y)
A	1,5
B	1,33
C	1,25

Tabla 5.15: Casos de carga

Estos coeficientes se emplean en la siguiente fórmula una vez sepamos los resultados del estudio de elementos finitos de SolidWorks, donde f_y es la resistencia máxima del material y S_y el coeficiente de la tabla anterior:

$$\sigma_o = \frac{f_y}{S_y}$$

Continuando con la normativa y para cada caso calculado, las cargas aplicadas siguen la distribución de la siguiente tabla:

Cargas	Caso	Ib	IIb	IVb	Va
		A	A	C	B
Peso muerto de la cabina descargada	5.2.2.2	X	X	X	
Carga nominal	5.2.2.4	X		X	
Fuerzas generadas en carga y descarga	5.2.2.6		X		
Cargas móviles	5.2.2.7	X			
Acción de los dispositivos de seguridad	5.2.2.8			X	
Carga soportada por el techo	5.2.2.9				X
Carga del viento	5.2.2.12.3	X	X	X	X

Tabla 5.16: Distribución de los casos de carga

Por normativa, y como se puede observar en la tabla anterior, la **carga de viento** se les aplica a todos los casos, ya que es una carga que no depende de los usos que se le vaya a dar al elevador.

Por lo tanto, además de esta carga de viento, los diferentes casos se van a ver afectados por las siguientes cargas:

- **Caso Ib.** Se va a analizar la estructura bajo la acción de las cargas por peso muerto de la cabina descargada, de la carga nominal y del factor de cargas móviles. Se comprobará la resistencia según el coeficiente de seguridad del caso de carga A (1,5).
- **Caso IIb.** Se va a analizar la estructura bajo la acción de las cargas por peso muerto de la cabina descargada y de las fuerzas generadas por carga y descarga. Se comprobará la resistencia según el coeficiente de seguridad del caso de carga A (1,5).
- **Caso IVb.** Se va a analizar la estructura bajo la acción de las cargas por peso muerto de la cabina descargada, de la carga nominal y de la acción de los dispositivos de seguridad. Se comprobará la resistencia según el coeficiente de seguridad del caso de carga C (1,25).

5.3.7. Mallado

El mallado se generará automáticamente mediante el programa SolidWorks. El programa da opción a definir la malla de más gruesa a más fina, esto influye en la precisión de los resultados. Una malla más fina obtendrá mejores resultados, pero el tiempo de mallado incrementará enormemente en comparación con una malla más gruesa. Además, al ser más fina las formas geométricas de la malla estarán más definidas, teniendo a unas formas tetraédricas, las cuales son ideales para un buen mallado.

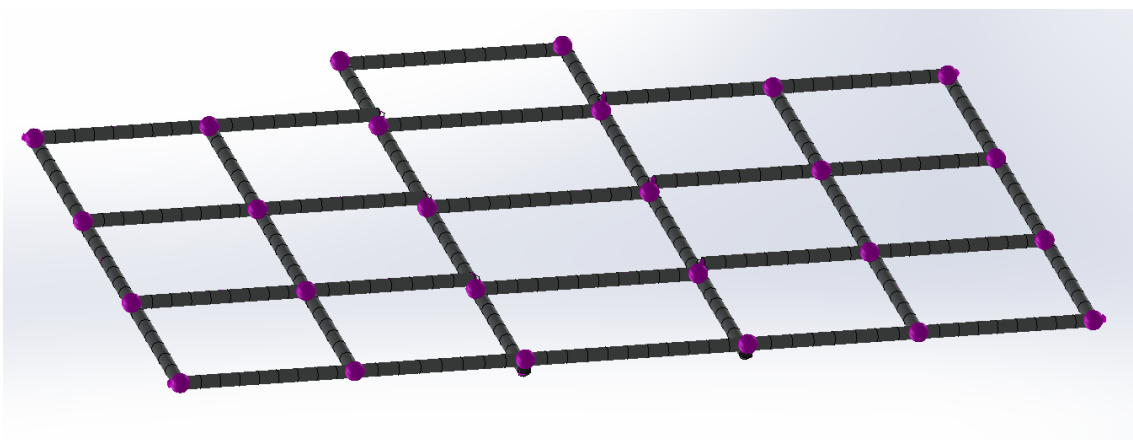


Figura 5.25: Mallado

5.3.8. Resultados

Una vez obtenidos los resultados, estos deben compararse con la tensión máxima del material (275 MPa) para obtener unos coeficientes de seguridad. A su vez estos coeficientes deben superar a los mostrados en la tabla 5.15.

La fórmula que empleamos para conseguir estos coeficientes es la siguiente:

$$\sigma_o = \frac{f_y}{S_{\gamma'}}$$

5.3.8.1. Caso Ib

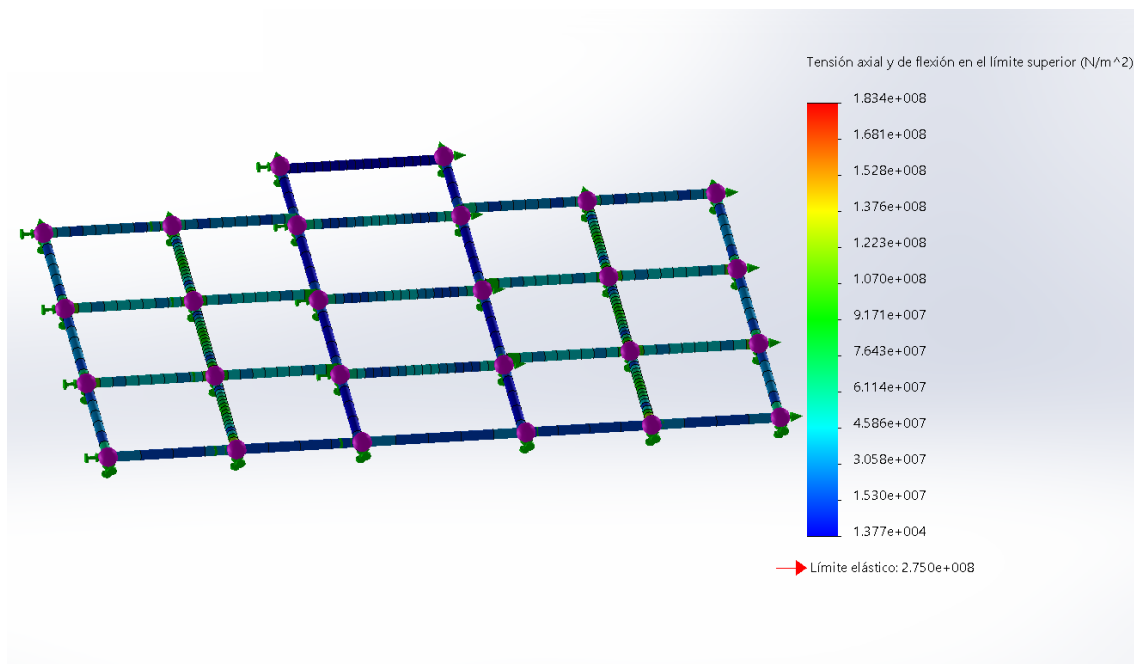


Figura 5.26: Caso Ib

Caso Ib		
Tensión máxima obtenida [MPa]	$S_{\gamma'}$	S_{γ}
183,4	1,5	1,5

Tabla 5.17: Caso Ib

Como se puede observar en la tabla, el valor del factor de seguridad obtenido es igual que el mínimo de referencia que nos aporta la normativa. Por lo tanto, cumple con los requisitos de seguridad, sin embargo, se deben proponer soluciones para incrementar la seguridad en el habitáculo. Una de estas soluciones puede ser repartir la carga de una manera más centrada en el interior de la cabina, evitando ponerla cerca de los accesos, lo que mejoraría el valor de la tensión máxima obtenida.

5.3.8.2. Caso IIb

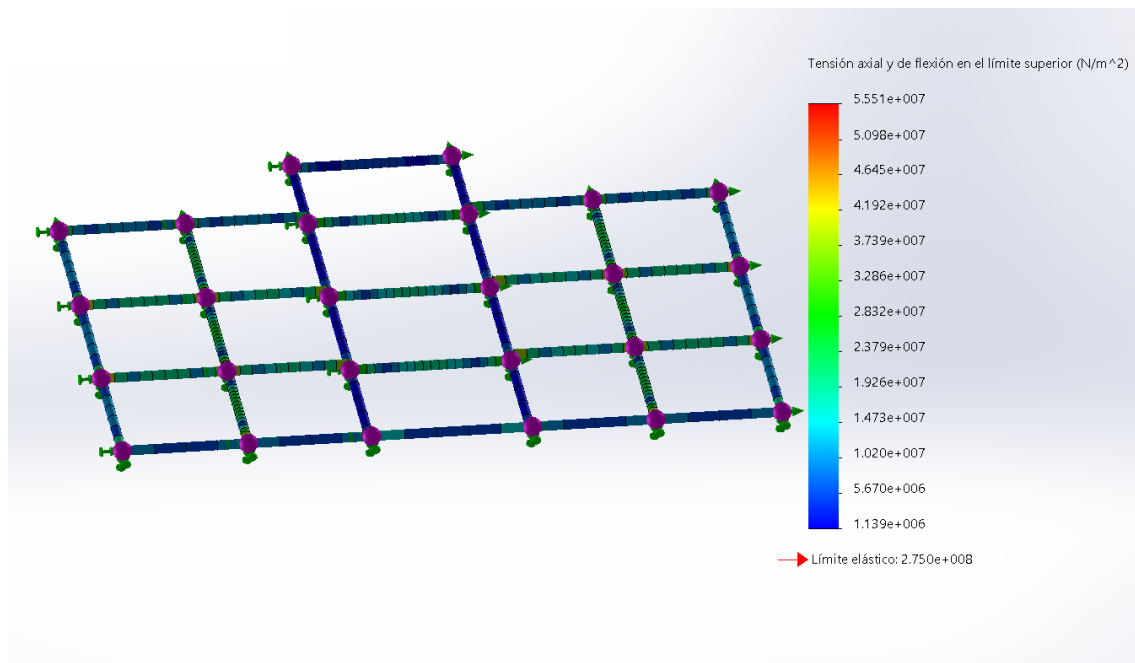


Figura 5.27: Caso IIb

Caso IIb		
Tensión máxima obtenida [MPa]	$S_{\gamma'}$	S_{γ}
55,51	4,99	1,5

Tabla 5.18: Caso IIb

En este caso, y como se puede observar en la tabla, el factor de seguridad obtenido es ampliamente superior al mínimo de referencia que nos aporta la normativa. Por lo tanto, cumple los requisitos de seguridad y no deben proponerse mayores soluciones. Aun así, se debe comentar que es un valor curioso, ya que cumple muy sobradamente el valor de la normativa, esto se debe a que la mayor carga se produce por la tensión nominal en cabina, la cual estando descargada no sufre, mejorando su seguridad.

5.3.8.3. Caso IVb

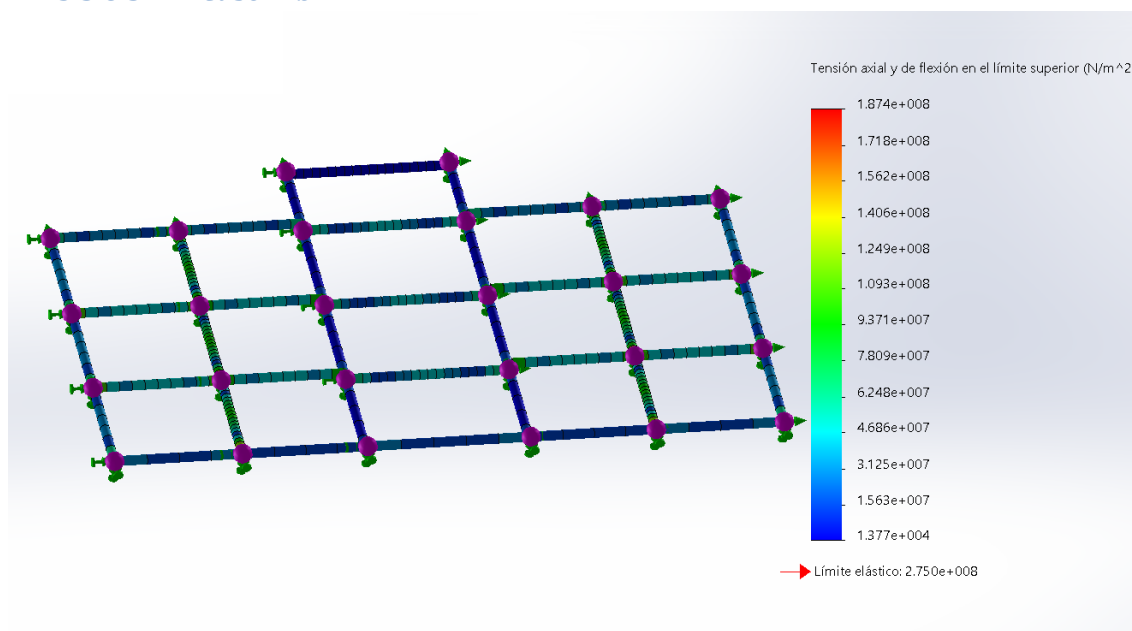


Figura 5.28: Caso IVb

Caso IVb		
Tensión máxima obtenida [MPa]	$S_{\gamma'}$	S_{γ}
187,4	1,467	1,25

Tabla 5.19: Caso IVb

En este caso el valor obtenido de tensión máxima podría ser muy superior, ya que la carga impuesta se calcula en función de un coeficiente que varía del 1,2 al 2,5. En este guion se ha utilizado el valor mínimo del coeficiente para observar sus resultados, en el caso de que no cumplieran los resultados obtenidos con ese coeficiente la estructura comprometida. Sin embargo, y como se puede observar, se ha obtenido un coeficiente de seguridad superior al de referencia aportado por la normativa. Esto nos indica que la estructura es **totalmente segura** en situaciones críticas.

6. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE SEGURIDAD SEGÚN NORMATIVA

A lo largo del documento se han tenido en cuenta diversas consideraciones relativas a la protección y seguridad de los ocupantes de la cabina y de la carga transportada. Estas consideraciones vienen reflejadas en la normativa de ascensores europea, en este caso las normas UNE-EN 1495 y UNE-EN12158 relativas a seguridad, la cual garantiza unas medidas de calidad y seguridad básicas para elevadores.

La principal zona de peligro es cerca de la base del mástil, donde se está expuesto a riesgos de lesiones y peligros para la salud. A continuación, se muestran los posibles peligros a tener en cuenta durante la utilización del elevador:

- **Peligro de aplastamiento o colisión.** El elevador posee numerosas piezas de alto peso que podrían golpear o aplastar en el caso de caída de estas. Además, existe la posibilidad de que un operario esté realizando tareas de mantenimiento en la base y no se percate de la bajada del elevador.
- **Peligro de caída.** Los aceites y lubricantes que emplean las piezas de la máquina pueden producir una película de goteo en el suelo, volviéndolo resbaladizo.
- **Peligro por contacto eléctrico.** En la zona de la base es donde se recoge el cable que suministra energía a los componentes eléctricos del elevador.
- **Peligro de enganche.** Debido al empleo de piezas con geometría no cerrada.
- **Peligro relativo al nivel acústico.** Debido al uso de maquinaria.

Durante el montaje y desmontaje del elevador existen riesgos residuales que se deben tener en cuenta. Estos riesgos residuales son inherentes a la seguridad de la máquina y están comprendidos dentro de la legislación vigente sobre seguridad en el ámbito de trabajo. Esta legislación también indica la utilización de los elementos de los equipos de protección individual (EPI).



Es obligatorio el uso de guantes de protección.



Es obligatorio el uso de calzado de seguridad.



Es obligatorio el uso del mono de trabajo.



Es obligatorio el uso del casco de protección



Es obligatorio el uso de cinturón de seguridad.

Figura 6.1: EPI

La utilización de este tipo de prendas es fundamental para garantizar una seguridad básica de los operarios ya que, la utilización de ropa ancha o accesorios como corbatas puede ocasionar el enganche con las partes móviles del montacargas. Los EPI también garantizan una protección básica frente a descargas eléctricas, ya sea contacto directo o indirecto.

En relación al peligro eléctrico, de acuerdo a la normativa UNE-EN 60204-1, todos los componentes eléctricos se encuentran dentro del cuadro eléctrico, el cual posee protección IP 54 para evitar el contacto accidental.

6.1. Protecciones fijas y/o móviles

Con el objetivo de proteger a los operarios en sus tareas, el conjunto elevador posee unos elementos protectores de acople fijo y/o móvil que se detallan a continuación:

- **Recinto base.** La principal zona de peligros se encuentra alrededor de la base del mástil. Para prevenir los peligros derivados del paso de personas por esta área durante el funcionamiento del elevador se instalará el recinto base. El recinto se fija mediante uniones atornilladas a la pared del edificio y al suelo para evitar la entrada a este de personal no autorizado ni equipado con el debido equipo de seguridad. En este caso hay dos configuraciones que montan dos recintos base distintos, sin embargo, ambas son desmontables y permiten la intercambiabilidad.
- **Protección del mástil.** Esta protección es fija y no se puede desmontar. Se trata de una placa protectora que se instala dentro de la cabina y evita el contacto directo entre operario y mástil.
- **Barandilla de protección del mástil.** El acople y desacople de este elemento es fundamental a la hora de montar y desmontar los distintos tramos del mástil. Al desacoplar esta protección se fija en el hueco una barandilla que trabaja de asidero y de protección de los operarios de montaje. Una vez terminada la labor de instalación de la hilera de mástiles es posible desacoplar la barandilla y acoplar la

protección en el hueco. Gracias a este elemento se puede alcanzar los 2 metros de altura exigidos por normativa para proteger la zona del mástil.

6.2. Dispositivos activos de seguridad

Estos dispositivos son los encargados de minimizar o eliminar ciertos riesgos en los que se precisa la intervención activa de un operario. En el conjunto elevador existe un dispositivo que activa la parada de emergencia cuando esta es necesaria, se trata de un pulsador de emergencia que se encuentra en dos zonas del conjunto: uno está en el cuadro eléctrico del recinto base y otro dentro de la cabina, el cual permite la maniobrabilidad del elevador por los operarios que están utilizándolo.



Figura 6.2: Cuadro eléctrico de cabina

6.3. Dispositivos pasivos de seguridad

Estos dispositivos son los encargados de minimizar o eliminar ciertos riesgos en los que no se precisa una intervención directa de los operarios, es decir, se activan solos mediante unos sensores o micro-pulsadores.

Los micro-pulsadores son los encargados de garantizar el correcto funcionamiento del elevador y la seguridad de los operadores.

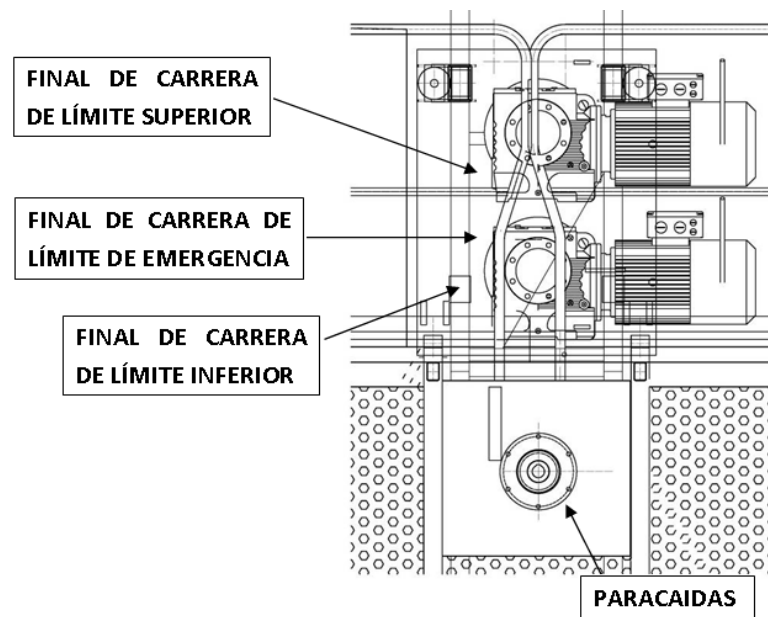


Figura 6.3: Situación en Plano

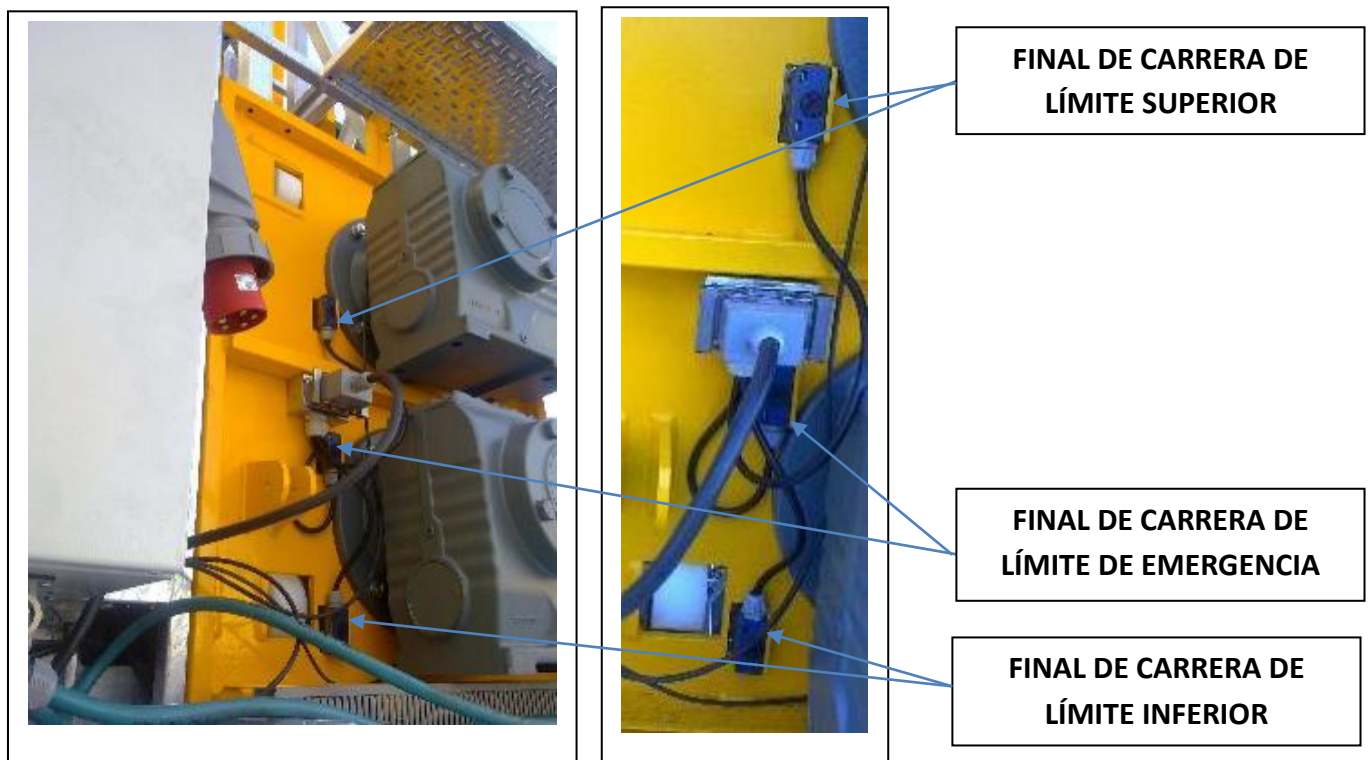


Figura 6.4: Situación en modelo real

Estos micro-pulsadores mandan la señal preestablecida cuando se hace el contacto entre la leva regulable de estos y los patines, los cuales son situados a lo largo del mástil a las alturas que se le precisa indicar al elevador. Generalmente estas alturas son donde se encuentran situadas las puertas de planta, accesibles desde los niveles de la estructura en los que se realiza la obra.

MICROPULSADOR	FUNCIÓN
Fin de carrera de límite superior	Indica la altura en la que se puede detener el elevador en su recorrido ascendente
Fin de carrera de límite inferior	Indica la altura en la que se puede detener el elevador en su recorrido descendente
Fin de carrera de límite de emergencia	Protector en caso de que los anteriores finales de carrera fallen, deteniendo la máquina por seguridad

Tabla 6.1: Tipos de micropulsador

En la cabina existen otro tipo de micro-pulsadores, entre los que se encuentran los **dispositivos de bloqueo**. Estos se encargan de transmitir a la caja de bornes el bloqueo del elevador en el caso de que no se cumplan determinadas condiciones de seguridad.

Estos micros están situados en las diferentes puertas y trampillas modulares que posee el elevador e indican la correcta posición de estos elementos móviles, manteniéndolos bloqueados electromecánicamente durante el ascenso o el descenso. Esto último es lo importante, ya que, si en alguna situación se encuentra una puerta o trampilla abierta, el elevador no podrá ponerse en marcha hasta que no se solucione. De esta forma se mantiene la seguridad en la zona del elevador y se reduce el riesgo de accidente por aplastamiento o caída de los ocupantes o mercancía durante el movimiento de este.



Figura 6.5: Bloqueo de puertas electromecánico

Por último, en este apartado cabe mencionar un sensor que es de vital importancia para la seguridad estructural de la cabina, el **sensor de sobrecarga**. Este sensor indica que se ha superado la carga máxima de diseño mediante unas galgas extensiométricas situadas en la cabina, las cuales transmiten una señal al panel de control e inmediatamente se impide el movimiento de la cesta. Cuando las galgas son activadas, a su vez se activa una alarma para avisar a los operarios de que se ha superado la carga máxima admisible, esta alarma no se apaga hasta que no se descargue completamente el elevador por seguridad.

6.4. Paracaídas

En caso de emergencia, existe un dispositivo de freno que se activa: el freno paracaídas.

El freno paracaídas es un **elemento de seguridad** que se activa en situaciones de emergencia donde la cabina inicia una caída libre debido a averías o a algún accidente. Está diseñado para trabajar en elevadores de piñón y cremallera o de transmisión de piñones. [7]

El sistema se activa cuando la velocidad a la que desciende la máquina supera la de diseño, establecida previamente en el montaje. Los sensores del paracaídas funcionan por medio de la fuerza centrífuga y se encargan de “clavar” el piñón del paracaídas a la cremallera. Este freno realiza la **parada de forma progresiva** hasta su completo detenimiento. Esto es así debido a que si lo realiza de forma brusca podría no aguantar la estructura y continuar la caída libre.

Además de enclavar la estructura, el paracaídas está provisto de un microrruptor que emite una señal eléctrica para **cortar la corriente general** del elevador, accionar una alarma, etc.

Para reiniciar el paracaídas una vez ha trabajado se debe analizar la integridad estructural del elevador y las causas que han provocado la actuación del freno paracaídas y solucionar el problema para, posteriormente, realizar un movimiento de subida del elevador y des-enclavar el freno paracaídas.

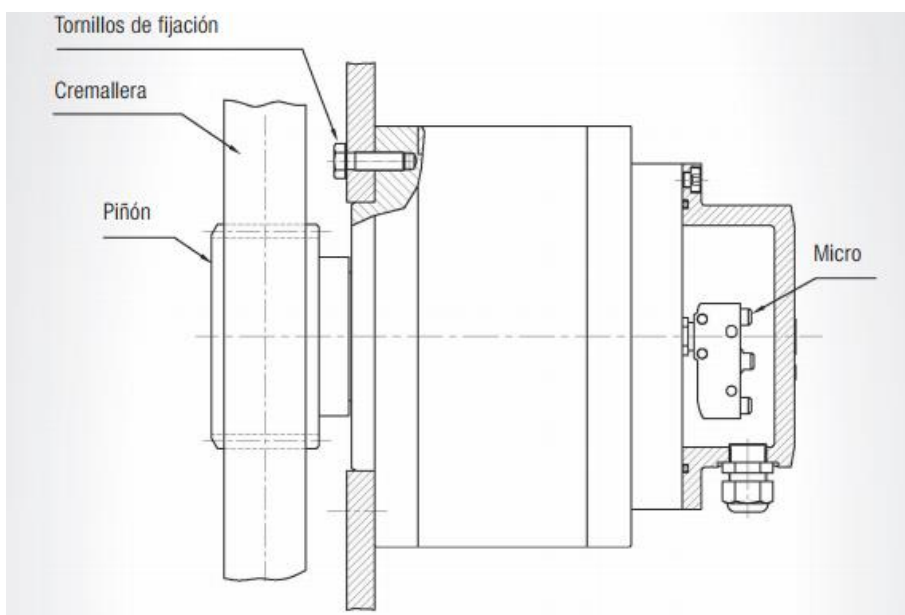


Figura 6.6: Perfil de paracaídas

A la hora de fijarse a la cremallera se deben tener en cuenta las mismas recomendaciones de la **normativa** UNE-EN 12159 para elevadores de obras de construcción para pasajeros y carga. El piñón del paracaídas debe quedar perfectamente centrado y engranado a la cremallera. Una vez montado el engrane se conectarán los cables al conector del micro, el cual se encuentra en posición de cerrado.

A la hora de recibir el paracaídas, este estará regulado con las características de la máquina a la que se le va a realizar el acople y precintado para impedir su manipulación posterior.

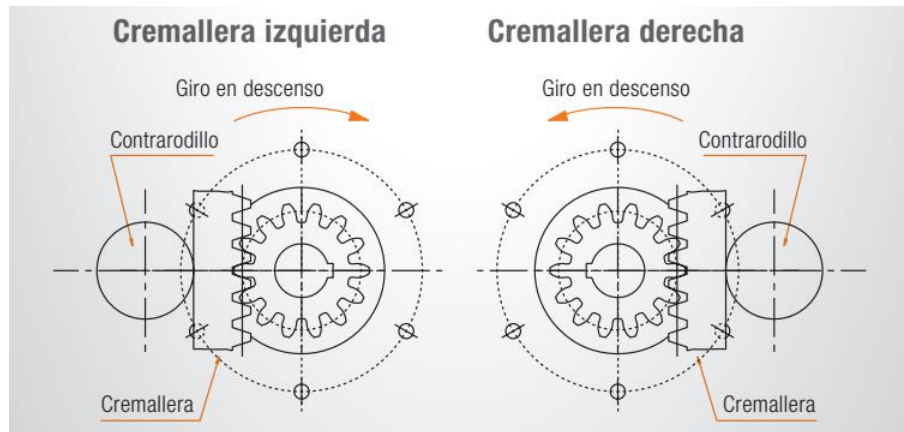


Figura 6.7: Engrane y movimiento del paracaídas

A continuación, se muestran los diferentes tamaños que la empresa EIDE ofrece, de los cuales se elegirá uno:

Tamaños	FPC-500	FPC-1000	FPC-3500	FPC-6000
Vel. enclavamiento	180-400 rpm	160-400 rpm	150-300 rpm	150-300 rpm
Regulación par	150-500 Nm	350-1250 Nm	900-3800 Nm	2000-7000 Nm

Tabla 6.2: Tamaños de paracaídas

Según la norma UNE-EN 12159 el par del freno de emergencia debe de ser 2,5 veces el par del elevador:

$$P_{paracaídas} = 2,5 \cdot T_{elevador} = 2,5 \cdot 1990 \cdot 0,6 = 2985 \text{ Nm}$$

Se escogerá el tamaño **FPC-3500** por ser el inmediatamente superior al par de paracaídas obtenido.

7. PROCEDIMIENTO DE MONTAJE Y DESMONTAJE

El proceso de montaje del elevador se considera un **proceso de riesgo para los operarios** por lo tanto se debe garantizar la seguridad de estos para evitar cualquier accidente que pudiera suceder.

Para garantizar la seguridad, los operarios deben seguir el código de vestimenta protectora adecuada como se indica en el punto 6 de este documento, incluyendo los arneses o cinturones de seguridad necesarios para realizar las labores de montaje.

Para realizar el proceso de montaje se deben tener en cuenta las indicaciones de la normativa:

- No se debe exceder el 50% de la carga nominal máxima que el elevador es capaz de soportar para garantizar la estabilidad durante la fase de montaje.
- Si la velocidad del viento alcanza los 12 m/s en la zona de instalación se parará el proceso de montaje por seguridad.
- Se debe colocar un perímetro de seguridad previo al montaje para garantizar la seguridad de las personas que se encuentren de paso por la zona.

La máquina debe instalarse sobre una superficie de soporte de hormigón de alta resistencia donde el chasis de la base debe ser atornillado con tornillos M12. Es necesario **colocar la base paralela a la fachada del edificio** a la distancia correcta, en Las ilustraciones posteriores se verán las distancias.

En el caso de este elevador, al ser modular tiene **dos fases de montaje distintas** dependiendo de si se pretende utilizar en fase montacargas o en fase plataforma de transporte. En ambas fases se dispone inicialmente de la cabina sin módulos completamente montada y lista para acoplarse al mástil una vez estén instalados los sistemas de rodillos.

A continuación, se muestra un flujograma de cómo se desarrollan y relacionan cada una de las fases desde que se realiza un pedido hasta que se desmonta completamente:

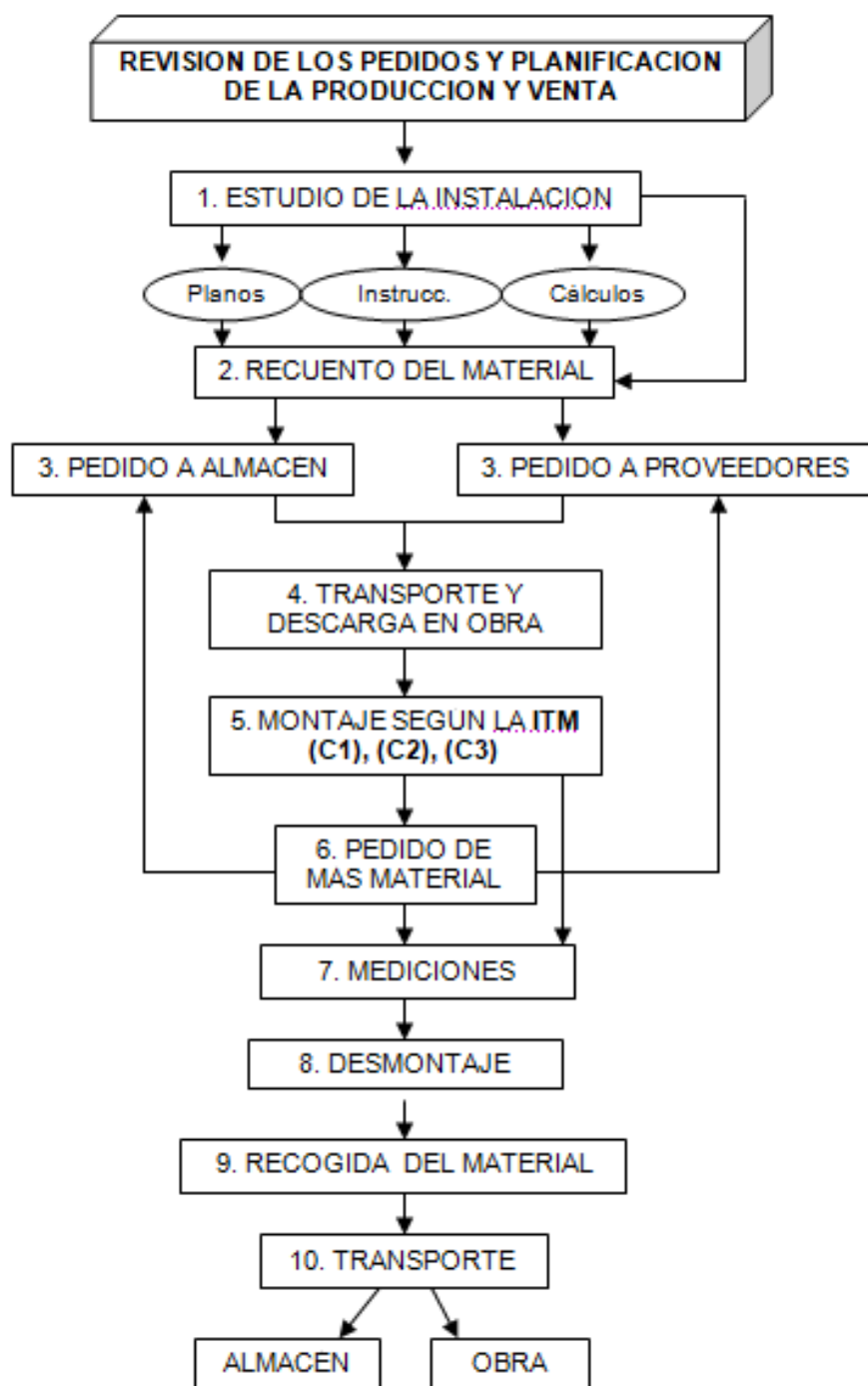


Figura 7.1: Organigrama de montaje y desmontaje

7.1. Proceso de montaje: Montacargas

Para una correcta instalación del montacargas se deben seguir los siguientes puntos (En el caso de que se realice este montaje no podrá ser utilizada la fase plataforma de transporte sin desmontar la estructura completamente y realizar los pasos de montaje del siguiente punto por seguridad):

1. Colocar la base del mástil delante de la pared respetando las siguientes medidas.

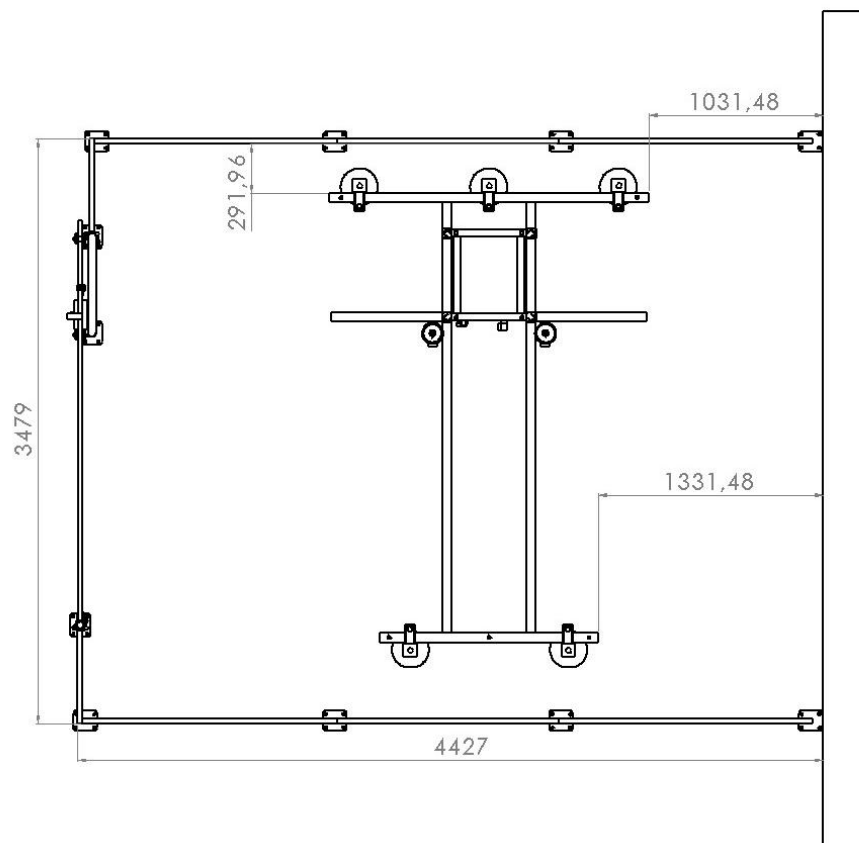


Figura 7.2: Distancias de la base del montacargas

2. Montar la primera sección del mástil mediante tornillos M20x150mm con un par de apriete de 410 N/m.
3. Montar correctamente el primer sistema de rodillos de la cabina. Antes de montar la cabina en la sección del mástil es necesario que todas las barandillas de seguridad estén colocadas.
4. Montar correctamente el segundo sistema de rodillos de la cabina.
5. Montar la segunda sección del mástil y fijarla con tornillos M20x150mm. Se debe tener especial cuidado con la malla correcta de la cremallera.
6. Fijar la barandilla con el cuadro de potencia del recinto base y el grupo motor a la sección del mástil mediante pernos M12. Además, el grupo motor debe estar correctamente engranado al mástil.

En este paso debemos tener un único conjunto formado por: base del mástil, dos secciones de mástil, grupo motor y el cuadro de potencia.

7. Montar el grupo motor a la cabina utilizando los dos bulones de carga con la flecha mirando hacia abajo.
8. Montar correctamente el brazo guía del cable en la cabina, el cual se tiene que regular posteriormente dependiendo del peso del cable.
9. Enchufar correctamente todos los cables en sus posiciones correctas.
10. Para montar el montacargas se debe utilizar el control remoto y la velocidad lenta. Nunca debe usarse una velocidad alta para ensamblar las secciones del mástil.
11. Montar el recinto base.
12. Garantizar que todos los rodillos guía estén correctamente montados y fijados a la cabina.
13. Comprobar que la nivelación del suelo de cabina este correcta.
14. Colocar dos secciones verticales del mástil y el conjunto arriostre sobre la parte superior de la cabina.
15. Colocar el mástil sobre los pasadores en la parte superior del último mástil colocado.
16. Introducir un tornillo M20x140mm en cada uno de los cuatro orificios destinados al acople mástil-mástil, asegurándose que la cabeza hexagonal del tornillo esté en la parte superior. Montar la arandela Grower y la tuerca en la parte inferior y apretar hasta alcanzar el par de apriete recomendado por el fabricante.
17. El primero conjunto arriostre se coloca en la segunda sección del mástil que coloquemos (6m).
18. Instalar el trolley en su posición por debajo de la cabina.
19. Continuar el montaje de los elementos verticales, fijando cada uno al anterior con: cuatro tornillos + arandela + tuerca.
20. Coloque un conjunto arriostre cada 9m (el equivalente a 6 secciones de mástil), verificando siempre que la pared a la que se arriostra sea resistente.
21. Instalar los conjuntos de patines 3 metros por debajo del suelo de cada una de las plantas por las que se pretenda tener acceso al elevador.
22. Una vez alcanzando el nivel máximo de mástil, colocar la sección de límite vertical, que incluye el límite mecánico superior. Esta sección es amarilla y no tiene rejilla.
23. Hacer una ruta completa de ascenso y descenso para la supervisión general de la instalación y hallar obstáculos en el movimiento de la cabina si los hubiera.
24. Montar el cerramiento de seguridad de la cabina y su puerta.

7.2. Proceso de montaje: Plataforma de transporte

Para una correcta instalación de la plataforma de transporte se deben seguir los siguientes puntos:

1. Colocar la base del mástil delante de la pared respetando las siguientes medidas.

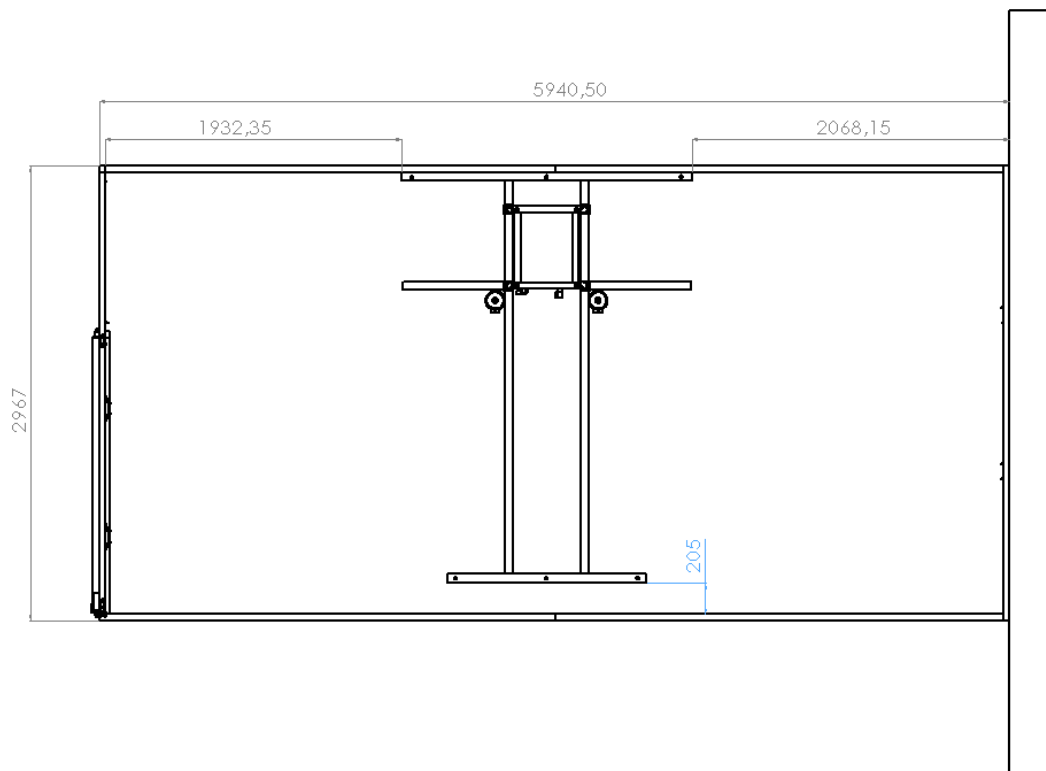


Figura 7.3: Distancias de la base de la plataforma de transporte

2. Seguir todos los puntos del 2 al 8, ambos inclusive, de la sección 7.1: “Proceso de montaje: Montacargas” y garantizar que estén correctamente cumplimentados.
3. Colocar las extensiones modulares a ambos lados de la cabina. Especial cuidado en que ambos sean de la misma medida, ya que si no lo fueran descompensaría el peso en cabina y los moto-reductores realizarían más trabajo, poniendo en peligro la seguridad estructural.
4. Colocar las puertas y trampillas modulares necesarias.
5. Una vez que el cerramiento modular está comprobado, continuar con los puntos del 9 al 22, ambos inclusive, de la sección 7.1.: “Proceso de montaje: Montacargas” y garantizar que estén correctamente cumplimentados. Especial atención a que los arriostres y el recinto base instalados sean los de la fase de plataforma de transporte, ya que los componentes de la otra fase son de medidas más reducidas.

7.3. Proceso de desmontaje

Durante el proceso de desmontaje se deben tener en cuenta las mismas consideraciones de seguridad que en los apartados de montaje. Antes de comenzar el desmontaje se tiene que garantizar que ninguna persona se encuentra cerca de la zona del recinto base para reducir el riesgo de aplastamiento y golpe por caída de objetos.

Una vez realizadas las verificaciones, el proceso es el que sigue:

1. Ascender hasta el punto más alto del tramo vertical.
2. Retirar la rejilla de protección e instalar la barandilla para trabajos de montaje y desmontaje.
3. Realizar el desacople de los amarres y los tramos verticales de mástil e introducirlos en el elevador verificando que no se exceda el límite de carga y siempre transportando los elementos en la zona más centrada de la cabina.
4. Seguir el desmontaje del punto 3 hasta alcanzar la base.
5. Deshacer lo realizado según los puntos del 1 al 13, ambos inclusive, de las secciones 7.1 y 7.2 de manera inversa y siempre siguiendo el mismo orden.

8. PLANIFICACIÓN SEMANAL DEL PROYECTO (Diagrama de Gantt)

A la hora de realizar un proyecto, es necesario dedicar un apartado al desglose de horas necesarias para llevarlo a cabo, para ello se utiliza un Diagrama de Gantt. Este diagrama es una herramienta que tiene el objetivo de exponer el tiempo de dedicación necesario para realizar cada uno de los pasos del proyecto, desglosado en meses y semanas. Esto es útil para realizar los cálculos presupuestarios a posteriori.

Descripción	Mes 1				Mes 2				Mes 3			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Recepción del pedido												
Análisis de la viabilidad												
Diseño												
Pedido de materia prima												
Recepción de materia prima												
Acopio y verificación												
Fabricación												
Pruebas de control de calidad												
Envío												
Recepción del pedido												

Tabla 8.1: Diagrama de Gantt

9. PRESUPUESTOS

El presupuesto general del elevador engloba los costes económicos derivados de las fases de diseño, compras y fabricación y montaje. En este apartado se va a proceder a desglosar cada uno de los costes materiales y humanos de las fases para obtener el valor final de venta del elevador propuesto.

9.1. Coste de diseño

Este coste implica el presupuesto que se le atribuye a la cantidad de horas trabajadas en la fase de diseño del elevador.

En la fase de diseño se incluyen los costes del departamento de ingeniería, del jefe de proyecto y del departamento administrativo que se encarga de la realización de los documentos que son necesarios para su envío al comprador.

Para realizar el proyecto se precisa del siguiente personal:

- 1 jefe de proyecto/director técnico.
- 2 ingenieros.
- 1 administrativo.

En la siguiente tabla se puede ver desglosado el resumen de costes de la fase de diseño en función del número de horas dedicadas y el precio por hora de estas para cada uno de los integrantes del proyecto.

Personal	Horas	N.º de empleados	Precio/Hora [€/h]	TOTAL
Jefe de proyecto	120	1	25	3.000,00€
Dep. Ingeniería	120	2	18	4.320,00€
Dep. Administrativo	60	1	15	900,00€
TOTAL				8.220,00€

Tabla 9.1: Coste de diseño

9.2. Coste de compras

Este coste implica el presupuesto dedicado a la compra de materiales y elementos necesarios para la construcción del elevador. Este apartado no incluye coste de personal puesto que la realización de la revisión de inventario y del pedido de materiales es parte de las labores del departamento administrativo y su coste ya está reflejado en el anterior apartado.

En la siguiente tabla se puede ver desglosado el resumen de costes de inventariado para poder realizar la fase de fabricación. El coste se calcula en función del número de unidades de cada elemento y el coste unitario.

Conjunto	Elemento	N.º de unidades	Precio/Unidad [€/Ud.]	TOTAL
Base	Base ^[1]	1	132,75	132,75€
	Gatos estabilizadores	4	50	200,00€
	Amortiguadores	2	40	80,00€
	Cubo recogeable	1	65	65,00€
Recinto base (Montacargas)	Recinto base ^[2] (Montacargas)	1	465	465,00€
Recinto base (Plataforma)	Recinto base ^[3] (Plataforma)	1	1180	1180,00€
Mástil	Mástil ^[4]	134	93	12.462,00€
	Patín	2*	20	40,00€
	Rodillo Soporte	4	6	24,00€
	Trolley	1	89	89,00€
	Guiacable	1	44	44,00€
Kit de arriostre (Montacargas)	Kit de arriostre ^[5] (Montacargas)	22	42	924,00€
Kit de arriostre (Plataforma)	Kit de arriostre ^[5] (Plataforma)	22	70	1.540,00€
Cabina	Cerramiento ^[6]	1	228,70	228,70€
	Suelo ^[7]	1	213,37	213,40€
	Techo	1	80	80,00€
Módulos de cabina	Puerta de guillotina	1	68	68,00€
	Puerta de doble hoja	1	72	72,00€
	Portillas	3	50	150,00€
	Trampilla abatible	2	65	130,00€
	Trampilla de trabajo	1	55	55,00€
	Trampilla y barandilla ventana	1	42	42,00€
Techo extensible	Techo extensible	2	40	80,00€
Cesta extensible	Cesta extensible ^[8] *	2	150,30	300,60€
Grupo motor	Moto-reductores	2	1.167,45	2.334,90€
	Paracaídas	1	540	540,00€
	Sistema de freno	1	60	60,00€
	Piñones	3	45	135,00€
	Estructura del grupo motor ^[9]	1	185	185,00€
	Micro-pulsadores	3	8	24,00€
Cuadro y componentes eléctricos	Cuadro y componentes eléctricos	1	400	400,00€
Puertas de planta	Puertas de planta	2	65	130,00€
TOTAL				22.474,35€

Tabla 9.2: Coste de compras

[1] El coste se valora según el precio del kilogramo de acero, cuyo precio es de 0,95 €/Kg. En este caso al ser 139,74 Kg la equivalencia es de 132,75€.

[2] Este valor incluye todas las barandillas del recinto base y la puerta con la cerradura electrónica.

[3] Este valor incluye todo el conjunto de paneles que forma el recinto base y la puerta de doble hoja con cierre electrónico.

[4] El precio por equivalencia de 1,5 metros de mástil es de 45€, sumado al precio actual de metro y medio de cremallera (48€) hace un precio total por sección de mástil de 93€.

[5] El precio del kit de arriostre en cada caso incluye las barras de acero, las grapas y el soporte a pared.

[6] El precio por 240,70 Kg de acero es de 228,70€.

[7] El precio por 224,60 Kg de acero es de 213,40€. Este es el suelo básico, si se le añade panel de madera como en los renderizados se incrementa el precio 30€.

[8] El precio por 128,2 Kg de acero es de 150,30€. Este es la cesta extensible básica, si se le añade el panel de madera como en los renderizados se incrementa el precio 30€.

*En esta configuración se ha añadido el suelo extensible de 1250mm. Existen también dos configuraciones adicionales de 300mm y 500mm.

[9] Este coste incluye el coste de los conjuntos de rodillos, los tubos del bastidor y la chapa.

9.3. Coste de fabricación

Este coste implica el presupuesto que se le atribuye a la cantidad de horas trabajadas por los operarios en la fase de fabricación del elevador.

En la tabla se desglosan las horas dedicadas a cada uno de los grandes elementos del elevador, siendo el resto de componentes englobados en ellos en función del desempeño de estos.

Elementos	Horas ^[2]	Precio/Hora [€/h]	TOTAL
Base	14	8	112,00€
Mástil ^[1]	54	8	432,00€
Grupo motor	12	8	96,00€
Cesta	40	8	320,00€
TOTAL			960,00€

Tabla 9.3: Coste de fabricación

[1] Cada operario es capaz de realizar 20 mástiles durante su jornada de trabajo (8 horas). Siguiendo esta metodología de trabajo se tardan 54 horas en realizar 134 mástiles.

[2] Se estima que para hacer un elevador se tardan 120 horas.

9.4. Coste de ensayos

Una vez terminada la fase de fabricación, es necesario realizar una serie de ensayos en un periodo mínimo de 16 horas (2 jornadas de trabajo) para comprobar la fiabilidad del elevador y asegurar la seguridad durante su futuro uso. Se emplearán dos trabajadores durante dos jornadas de trabajo para realizar los ensayos, por lo que el coste se queda así:

$$C_E = 2 \cdot 16 \cdot 8 = 256,00\text{€}$$

9.5. Coste total

Este coste es el final y el que se le envía al comprador final, engloba los costes de diseño, fabricación, compras y ensayos:

$$C_T = C_D + C_C + C_F + C_E = 8220 + 22474,35 + 960 + 256 = 31910,35\text{€}$$

COSTE TOTAL DEL MONTACARGAS/PLATAFORMA DE TRANSPORTE	
TOTAL	31.910,35€*

Tabla 9.4: Coste total

*Este es el coste total de la máquina si se pretenden utilizar las dos fases: montacargas y plataforma de transporte.

**Existe la posibilidad de abaratar el coste eliminando del presupuesto los arriostres de la fase montacargas y su respectivo recinto base, pero no se podrá utilizar el elevador como montacargas.

***Se debe indicar que el elevador puede trabajar en las dos fases utilizando únicamente el recinto de la plataforma de transporte, sin embargo, en obras donde se carece de hueco en la zona de la base supondrá un problema ya que no se pueden quitar chapas laterales del recinto para reducir la envergadura de este.

10. CONCLUSIONES

A lo largo del presente documento se ha tratado de **resolver una propuesta de ingeniería aplicando los conocimientos adquiridos y utilizando las normativas vigentes**. Se han descrito y desarrollado todos los pasos necesarios para realizar un proyecto ingenieril que satisfaga las demandas del cliente contratante. Una vez realizado el proyecto se pueden llegar a las siguientes conclusiones:

- Se ha realizado un **marco introductorio** acerca de la historia de los elevadores y se ha analizado la evolución del sector en la historia reciente. Esto ha dado paso a un apartado en el cual se han explicado detalladamente cada uno de los distintos tipos de elevación existentes en el mercado actual.
- Se ha planteado un **problema** en un contexto claro en el que requiere del uso de un híbrido entre montacargas y plataforma de transporte. La propuesta indicada en el documento cumple los requerimientos establecidos en el problema siguiendo un orden detallado de desarrollo.
- Se ha **diseñado un elevador eléctrico modular híbrido** entre montacargas y plataforma de transporte y cuya potencia se consigue mediante un engrane de piñón y cremallera. Para diseñarlo se ha utilizado la herramienta de diseño 3D **SolidWorks**, donde se han realizado todas las piezas desde cero parametrizando y realizando ensamblajes hasta conseguir el modelo final mostrado. Gracias al desarrollo del elevador en el programa se han podido obtener unos resultados muy cercanos a los reales para realizar los posteriores cálculos.
- Tras haber realizado el elevador se ha procedido a realizar los cálculos necesarios para garantizar la seguridad del mismo.
 - **Se ha empezado analizando el peso del elevador** y la carga nominal aplicada para elegir una pareja de motorreductores que cumplan con las exigencias marcadas.
 - Una vez obtenidos los motores, y siguiendo con el sistema motriz, se han **analizado los piñones motores y la cremallera** a la cual engranan. Tras haber realizado un estudio de las resistencias a fatiga del diente y la resistencia a rotura en el flanco del diente se ha obtenido un material y un piñón que cumple con las exigencias marcadas.
 - Finalizando el apartado de diseño mecánico, era necesario realizar un **análisis de elementos finitos** para analizar cómo responde la estructura del bastidor de cabina frente a las cargas actuantes durante el trabajo del elevador. Para ello se precisó del **módulo de simulación de SolidWorks**, en el que se le establecieron varios casos de carga siguiendo siempre las indicaciones de la normativa. Se concluyó que el bastidor cumplía con las exigencias junto al resto de apartados de la fase de cálculos.
- Se ha desarrollado un apartado de **seguridad** siguiendo la normativa. En él se han detallado todos los elementos de seguridad, además de los componentes instalados en

el elevador con el fin de reducir el riesgo de accidentes tanto dentro del elevador como en las zonas circundantes debido a factores mecánicos o humanos.

- Continuando con la seguridad en el elevador, se han desarrollado una serie de pasos aconsejados a seguir para realizar el **montaje y desmontaje** del elevador y todos sus componentes diferenciando sus dos fases de trabajo.
- El último punto del guion se ha centrado en la elaboración de un **presupuesto**. Para ello se han desarrollado por separado los costes de diseño, fabricación, compras y ensayos y posteriormente se han unido en un presupuesto común. Con el objetivo de realizar unos costes más veraces se ha realizado un diagrama de Gantt con los tiempos empleados en cada fase del desarrollo del elevador.

En conclusión, el **fin del proyecto** era realizar un elevador híbrido entre los dos sistemas más empleados para elevar carga: el montacargas y la plataforma elevadora. Para ello se han desarrollado una serie de módulos anexos a la estructura principal del montacargas base que lo convierten en una plataforma de transporte perfectamente funcional, aumentando su envergadura y ampliando las posibilidades de utilización de la máquina.

Se han analizado las cargas que soporta el elevador y en función de la potencia requerida se ha elegido una pareja de motorreductores acordes a las exigencias del problema.

Se ha analizado mediante la normativa el comportamiento de los piñones motores y se ha obtenido un material que cumple con las exigencias básicas de seguridad.

Se ha realizado y testado un montacargas mediante la normativa y la herramienta de diseño 3D **SolidWorks**, la cual ha permitido el desarrollo de cada una de las piezas que conforman el elevador y el estudio del comportamiento bajo cargas estáticas.

Mediante este elevador se han cumplido los requerimientos del cliente y se ha innovado sobre los elevadores del sector, creando una **alternativa viable** que podrá ser utilizada y mejorada para ampliar las posibilidades del mercado de la elevación.

11. PROPUESTAS DE MEJORA PARA EL FUTURO

Al ser un prototipo de elevador, este puede sufrir numerosas mejoras en el futuro. A continuación, se proponen ciertas mejoras para mejorar de cara al futuro el elevador que se ha desarrollado:

1. Liberar carga al piñón.

Se ha podido observar durante los cálculos realizados en los dientes del engrane que estos sufren mucho, teniendo que aumentar el ancho de cara de los piñones motores 15 mm más con respecto al de la cremallera para aguantar la carga que supone el movimiento del elevador a máxima potencia.

Para abordar este problema, algunos modelos de ascensor llevan instalados un **engrane que reparte la carga** del piñón motor en dos ruedas anexas, que son los encargados de transmitir la carga a la cremallera.

Las mejoras que aportan esta posible mejora son las siguientes:

- Libera carga del eje motor.
- Reparte la carga del piñón motor, haciendo que sus dientes sufran menos y permitiendo más carga nominal.
- Reducción del ancho de cara del piñón motor.

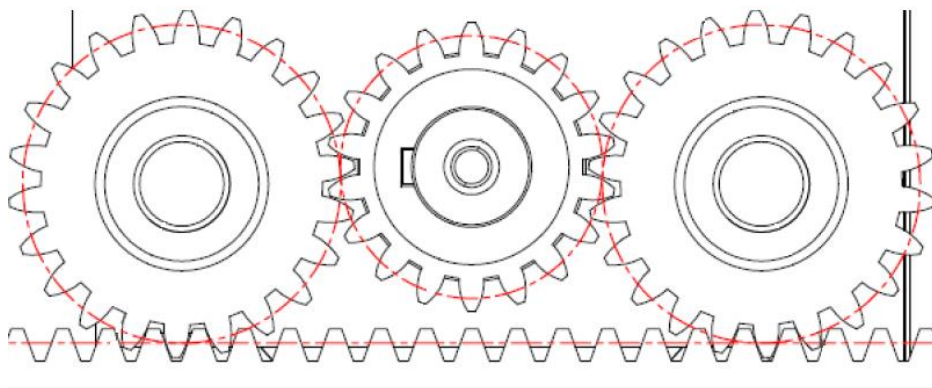


Figura 11.1: Engrane para repartir carga

2. Nivelador de carga.

Una de las indicaciones de mayor importancia a la hora de utilizar el elevador propuesto es el **centrado de la carga en cabina**. Esta norma es debida a que, cuando se coloca la carga en los extremos de la cabina, esto genera un par que provocaría el posible fallo del piñón motor. Este fallo se produciría porque los dientes sufrirían más al estar la carga desnivelada.

Para solventar este problema se podría instalar un **elemento nivelador de carga** por debajo del suelo de la estructura. Este elemento estaría provisto de un contrapeso para nivelar carga en cabina y mediante unos sensores situados en el grupo motor, se movería en función del desnivel para compensarlo.

Este elemento supondría un peso añadido a la carga nominal, por lo que habría que reducir la masa máxima admitida. Aun así, podría ser una posible mejora a instalar en el elevador propuesto

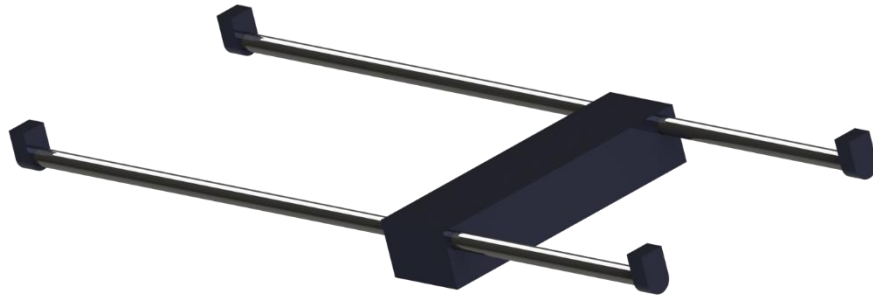


Figura 11.2: Nivelador de carga

3. Gasto cero.

Con respecto a la eficiencia energética, **los edificios representan el 40% del consumo global y de este consumo, un 10% puede ser generado por los ascensores**. Por ello hay que hacer especial énfasis en la busca de mejoras sostenibles tanto para los ascensores de obra nueva como para los ya operativos ^[12].

Para ello se le podrían implementar al elevador propuesto las siguientes mejoras:

- **Aprovechamiento de la energía cinética.** Siguiendo la línea de los ascensores de “creación de energía”, se podría aprovechar la energía cinética producida durante el movimiento del elevador y convertirla en electricidad devuelta al edificio.
- **Energía cero.** Durante la parada del elevador, este sigue demandando energía. Por ello se podría programar un modo de hibernación para las cabinas inactivas y evitar esta demanda. Con esto se reduciría ampliamente el consumo total de los elevadores, ya que se estima que estos pueden llegar a estar el 70% de su vida útil parados.

12. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL ELEVADOR

MONTACARGAS PH20	
Dimensiones de cabina	3x1,5x2,4 [m]
Carga máxima	1500 [Kg]
Distancia entre los puntos de arriostramiento	9 [m]/6 [m]
Primer punto arriostrado	6 [m]
Fabricante del moto-reductor	SEW EURODRIVE
N.º de moto-reductores	2 (Ejes paralelos)
Potencia del motor	2x7,5 [KW] (12,7 KW a carga máxima)
Tensión de trabajo del grupo motor	230 [V]
Inversor de frecuencia	30 [KW]
Resistencia del freno manual	18 [KW]
Módulo de cremallera	8 [mm]
N.º de dientes del piñón motor	15
N.º de dientes del piñón paracaídas	15
Altura máxima de la columna de mástiles	200 [m] 19,8
N.º máximo de personas permitidas a bordo	22
Velocidad máxima de operación	24 [m/min]
Velocidad máxima admisible del viento en servicio con anclajes	20 [m/s]
Velocidad máxima admisible del viento fuera de servicio dentro del recinto base	44 [m/s]
Velocidad máxima admisible del viento durante el montaje/desmontaje	12,5 [m/s]
Nivel acústico máximo producido	82,5 [dB]

Tabla 12.1: Especificaciones del montacargas

VARIACIONES PLATAFORMA PH20	
Dimensiones de cabina	5,5x1,5x2,4 [m]
Carga máxima	1500 [Kg]
Primer punto arriostrado	6 [m] / 4,5 [m]
Velocidad máxima de operación	12 [m/min]

Tabla 12.2: Variaciones de la plataforma de montaje

13. BIBLIOGRAFÍA

Normativas

UNE-EN ISO 12159: marzo 2013. Elevadores de obra de construcción para pasajeros con carga con caja guiada verticalmente.

UNE-EN ISO 12158-1: diciembre 2010. Elevadores con plataformas accesibles.

UNE-EN 60204: junio de 2010. Seguridad de las máquinas.

Directiva de máquinas 2014/33/UE: abril de 2016.

UNE-EN 1495: enero de 2010. Plataformas elevadoras. Plataformas de trabajo sobre mástil.

AGMA 1012. American Gear Manufacturing Society. Normativa de diseño de engranajes.

Recursos web

- [1] <http://www.enier.com/> Historia del primer elevador. [21 de agosto de 2017]
- [2] <http://www.curiosfera.com/> Historia del ascensor. [21 de agosto de 2017]
- [3] <http://www.elmundo.es/> Análisis del parque de ascensores. [23 de agosto de 2017]
- [4] <http://ela-aisbl.eu/> European Lift Asociation. [24 de agosto de 2017]
- [5] <https://www.fenercom.com/> Seguridad en ascensores existentes. [24 de agosto de 2017]
- [6] <https://www.sew-eurodrive.es/> Fabricante de motorreductores. [3 de septiembre de 2017]
- [7] <http://www.eide.net/> Fabricante de paracaídas. [6 de septiembre de 2017]
- [8] <http://www.saeclimber.com/es/> Empresa de elevadores de obra. [6 de septiembre de 2017]
- [9] <http://tv.uvigo.es> Información del ascensor eléctrico por Universidad de [7 de septiembre de 2017]
- [10] <http://www.aiconelevadores.es/> Ascensores hidráulicos y eléctricos [7 de septiembre de 2017]
- [11] <https://oposicionbomberoonline.org/> Información sobre elevadores hidráulicos [7 de septiembre de 2017]
- [12] <https://www.energynews.es/> Sistema de energía cero [20 de septiembre de 2017]

Referencias bibliográficas

[13] Shigley, Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett. *Diseño en ingeniería mecánica 8th*.

McGraw-Hill Interamericana de México S.A. (2008)

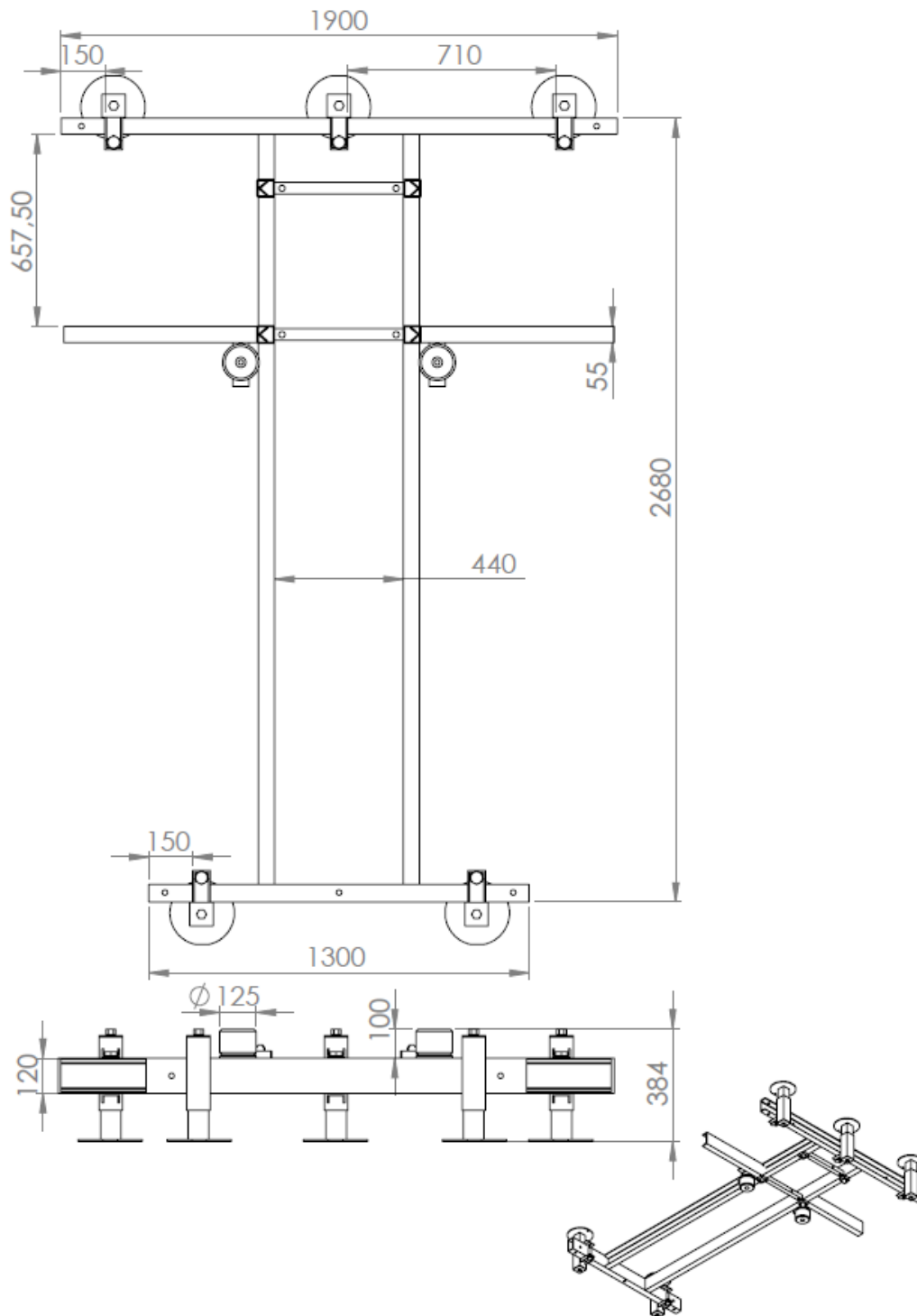
[14] Apuntes de la asignatura Cálculo y Diseño de Máquinas.

Universidad Carlos III de Madrid

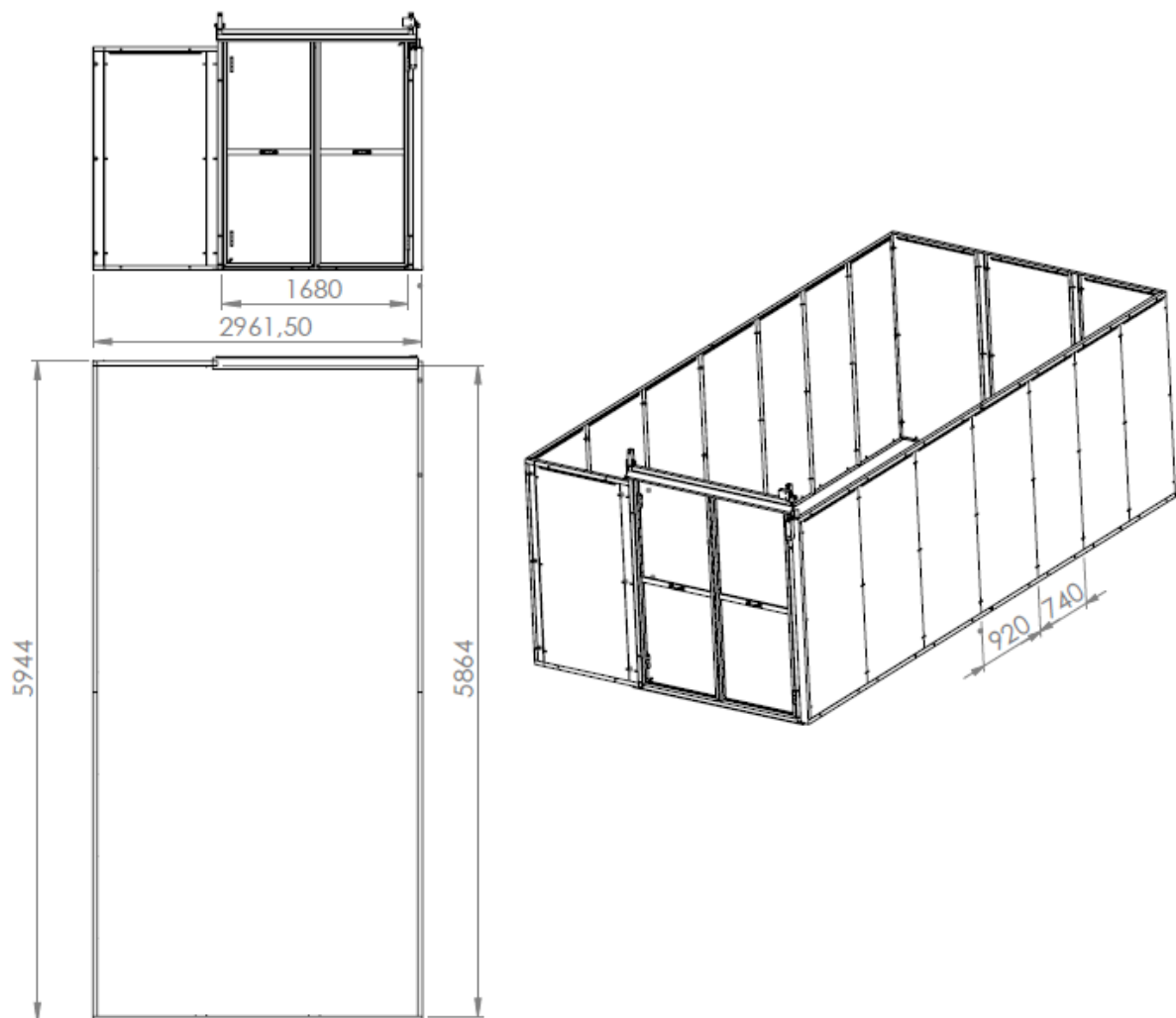
[15] Apuntes de la asignatura Resistencia de Materiales.

Universidad Carlos III de Madrid

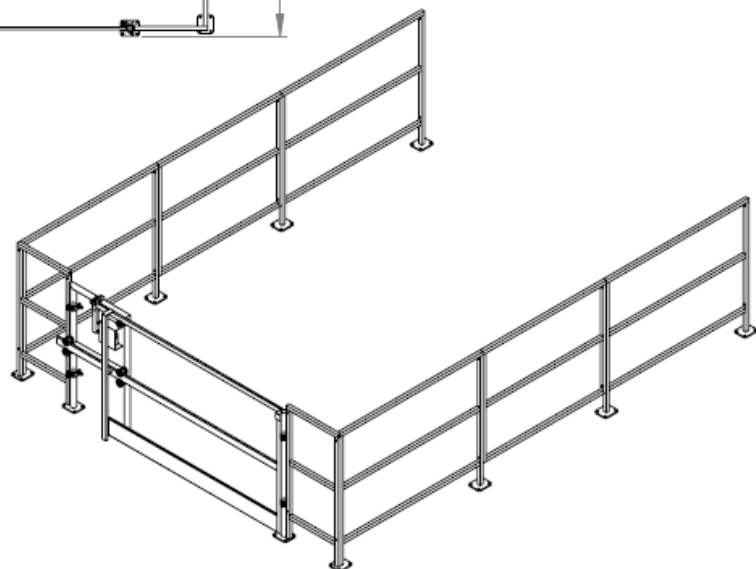
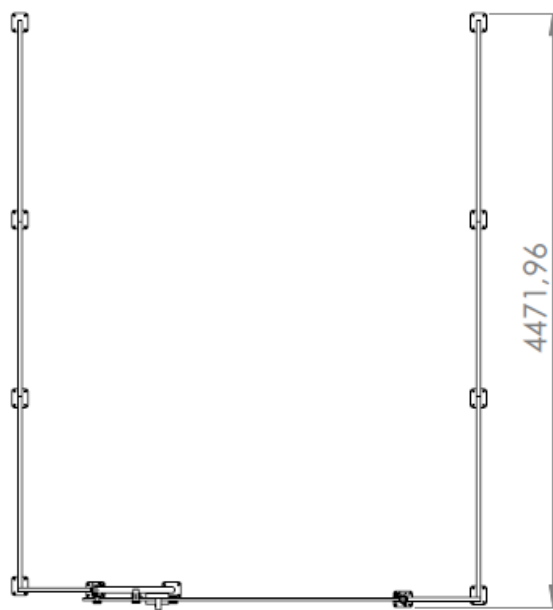
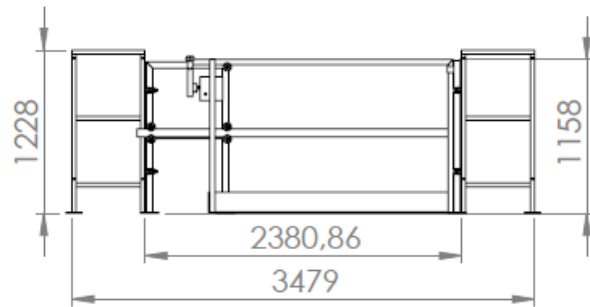
ANEXO DE PLANOS



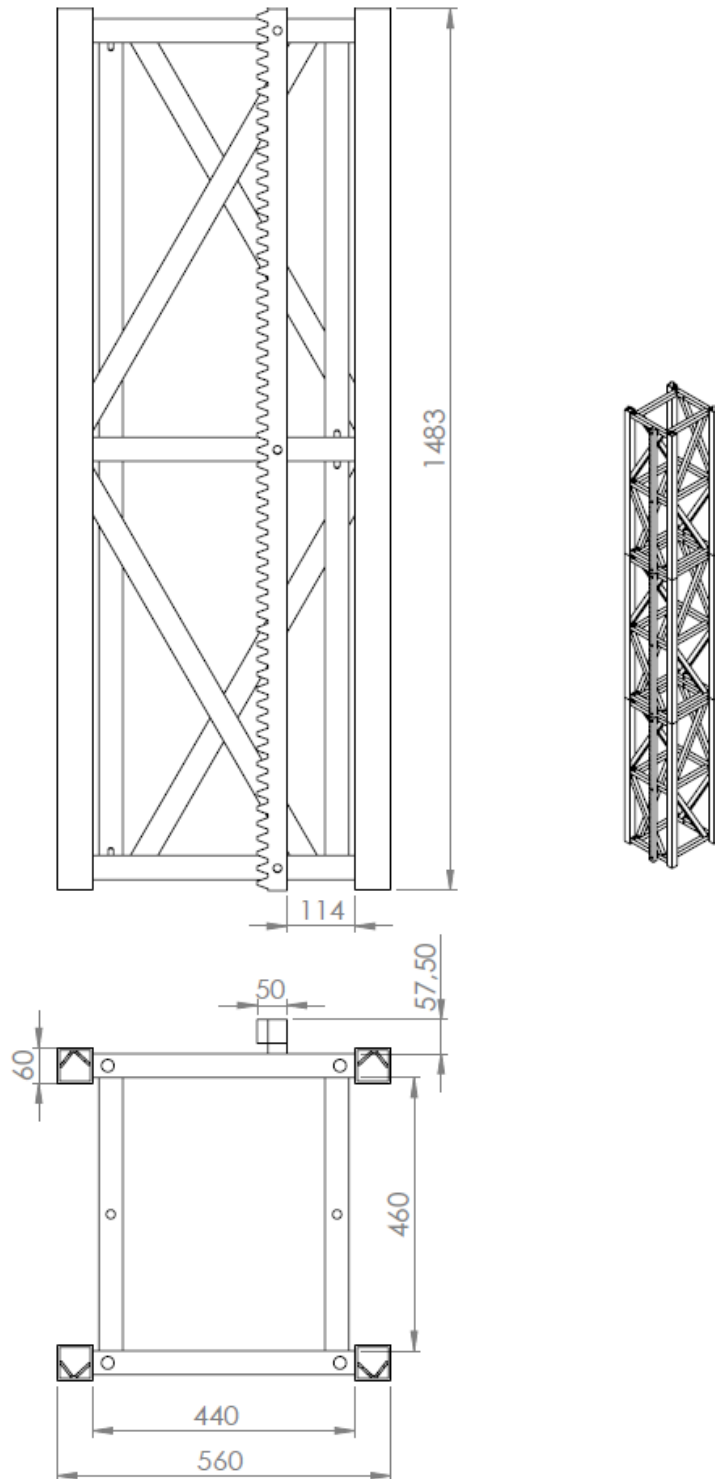
Plano 1: Base



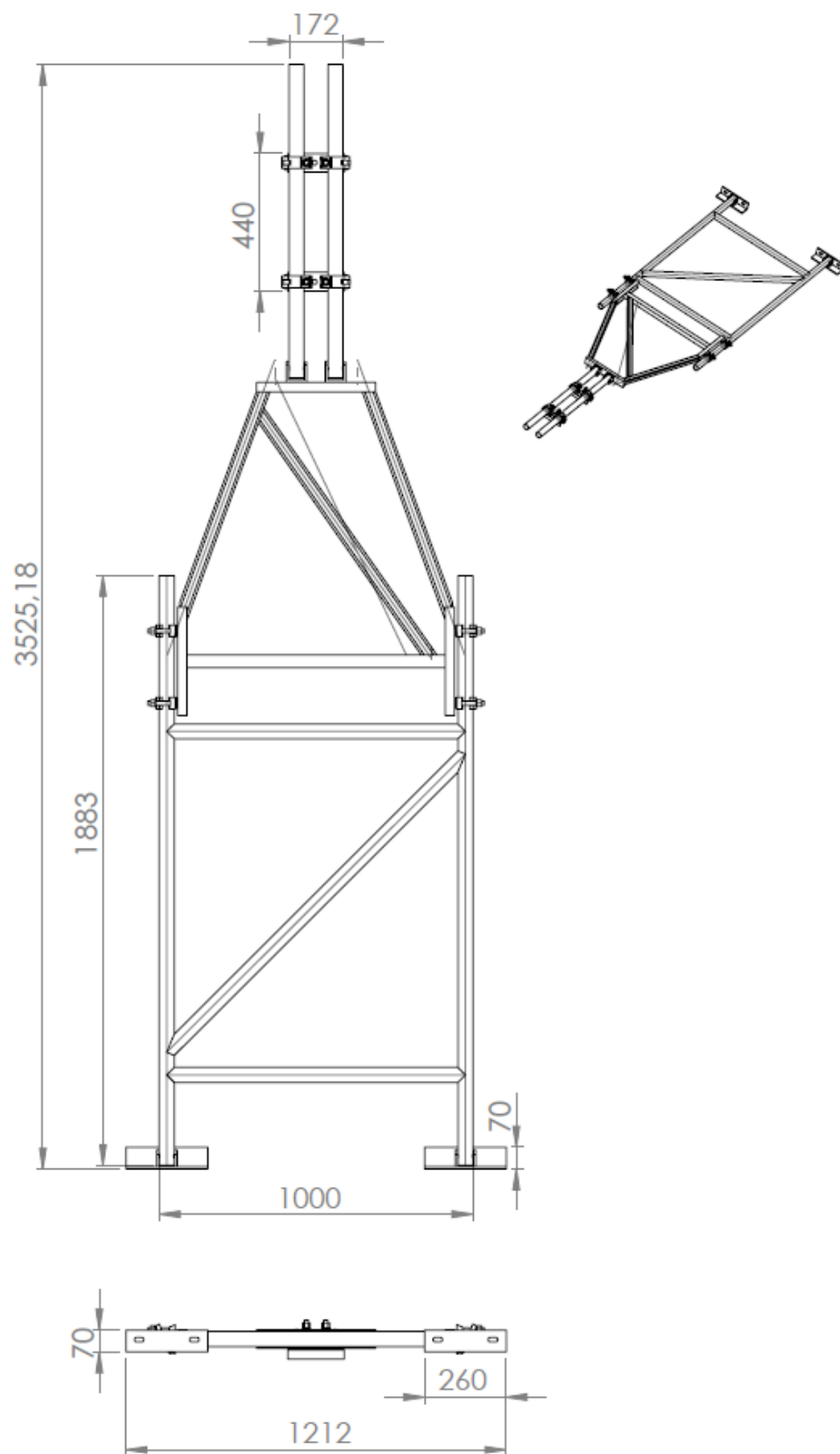
Plano 2: Recinto base (Plataforma de transporte)



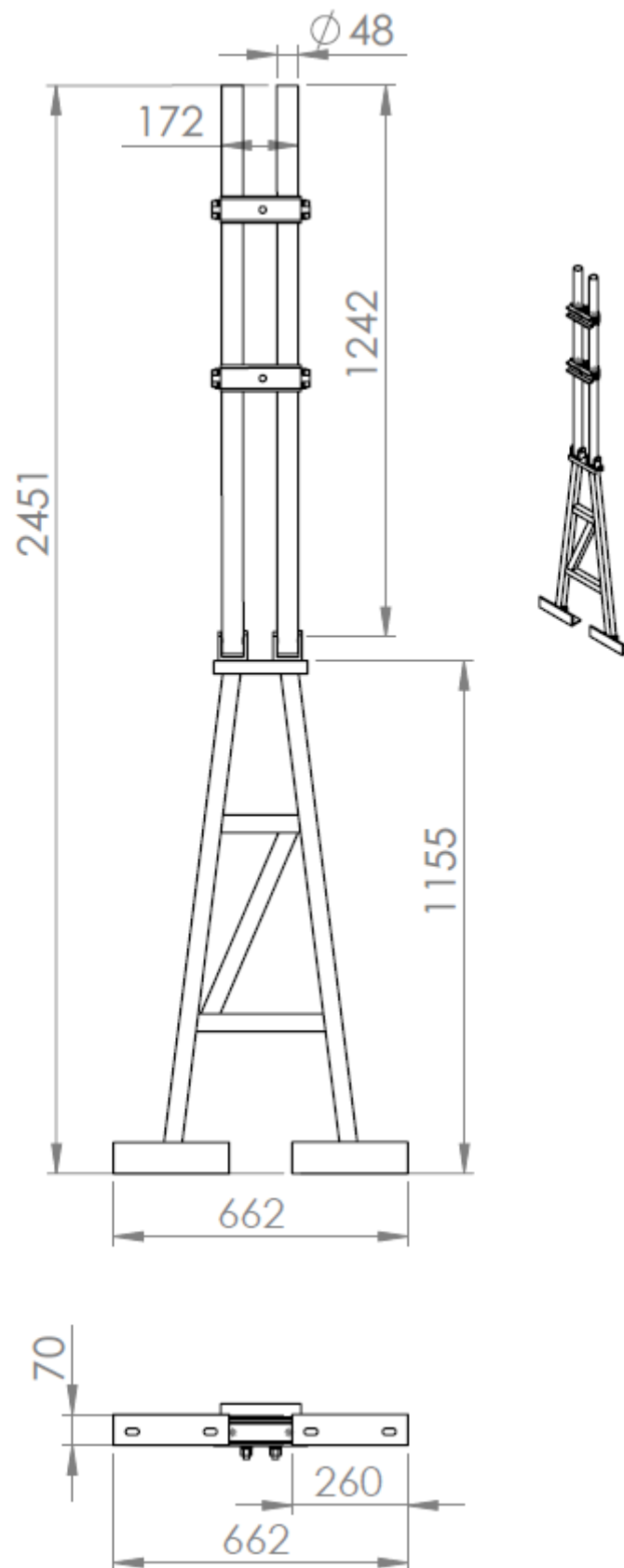
Plano 3: Recinto base (Montacargas)



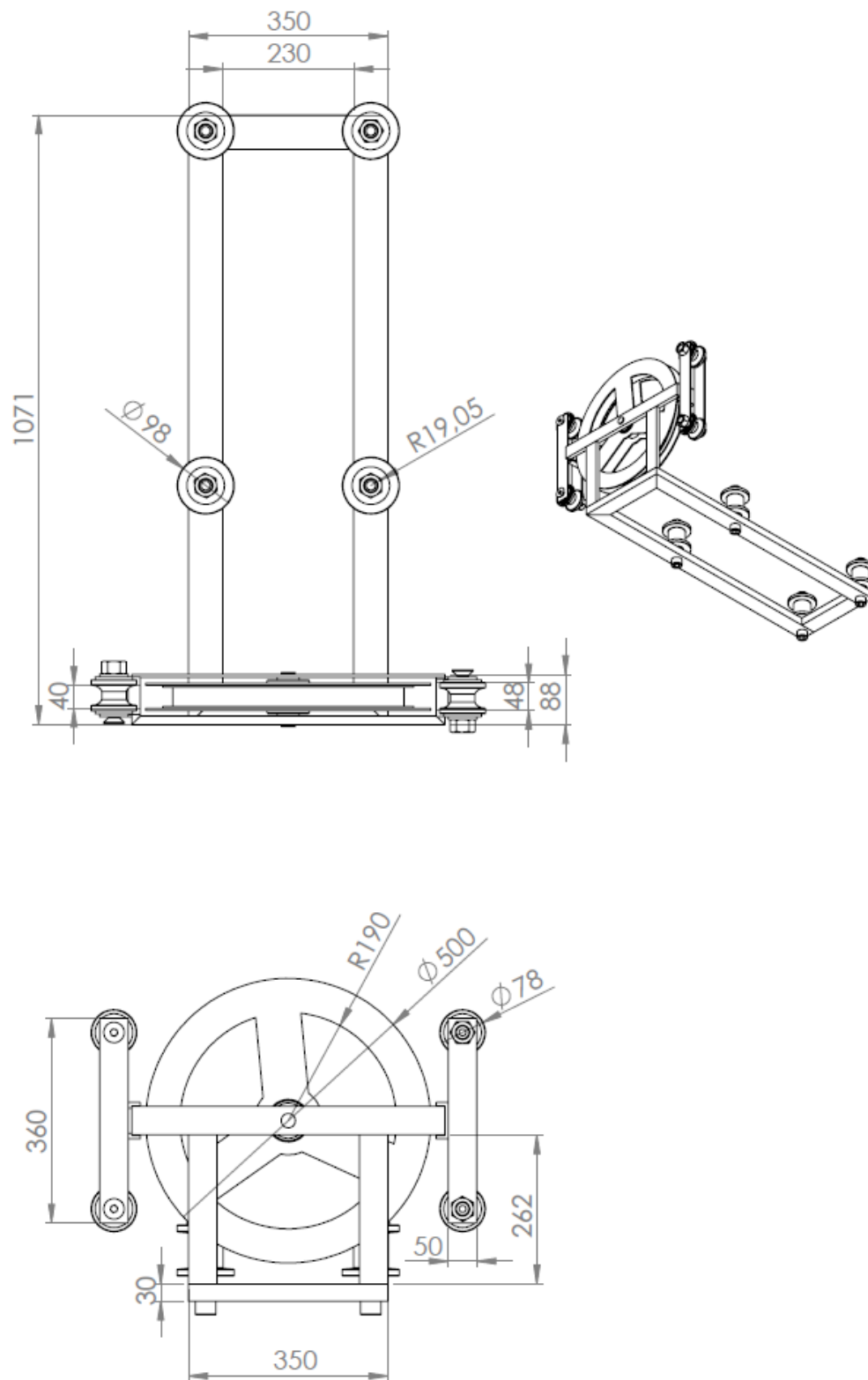
Plano 4: Mástil



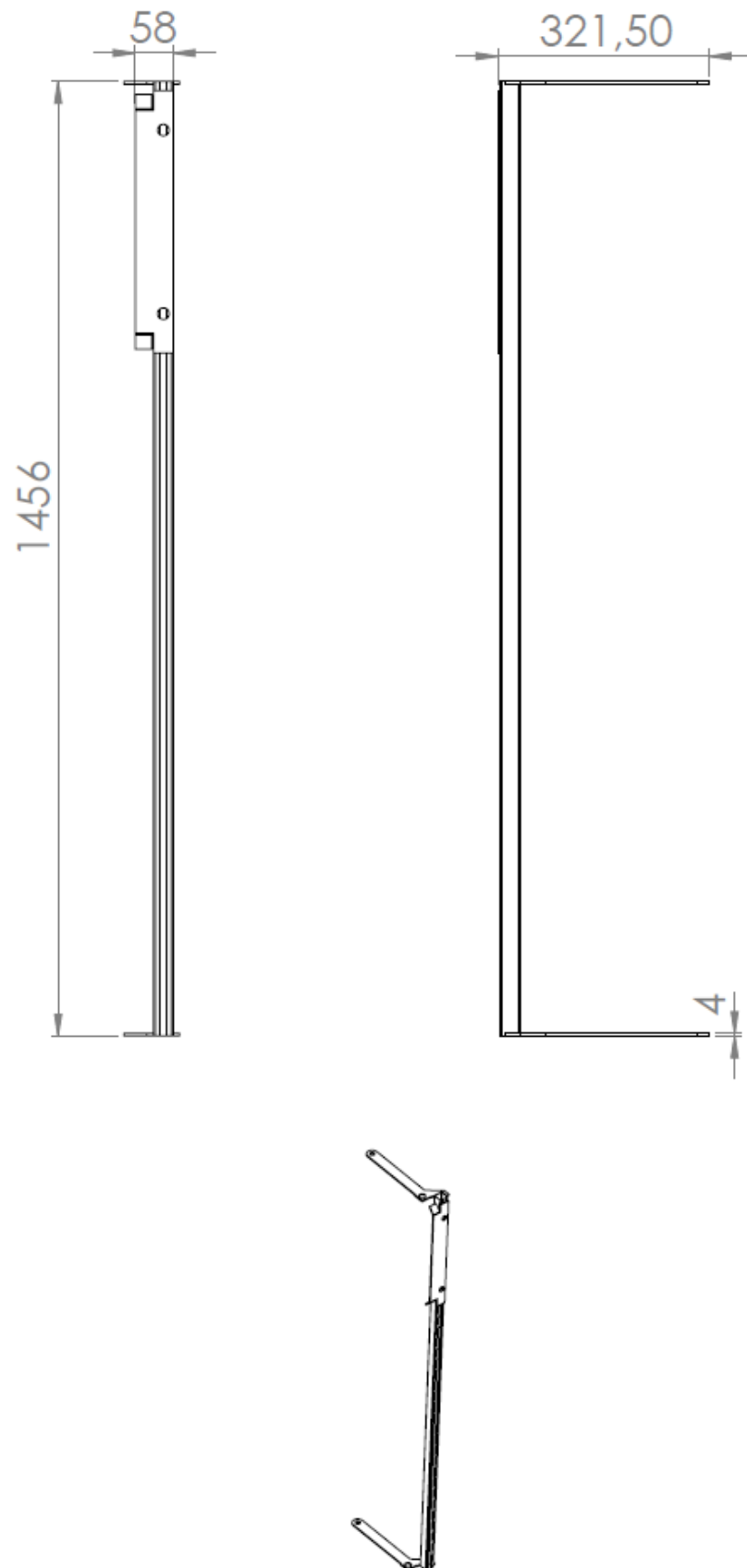
Plano 5: Arriostre (Plataforma)



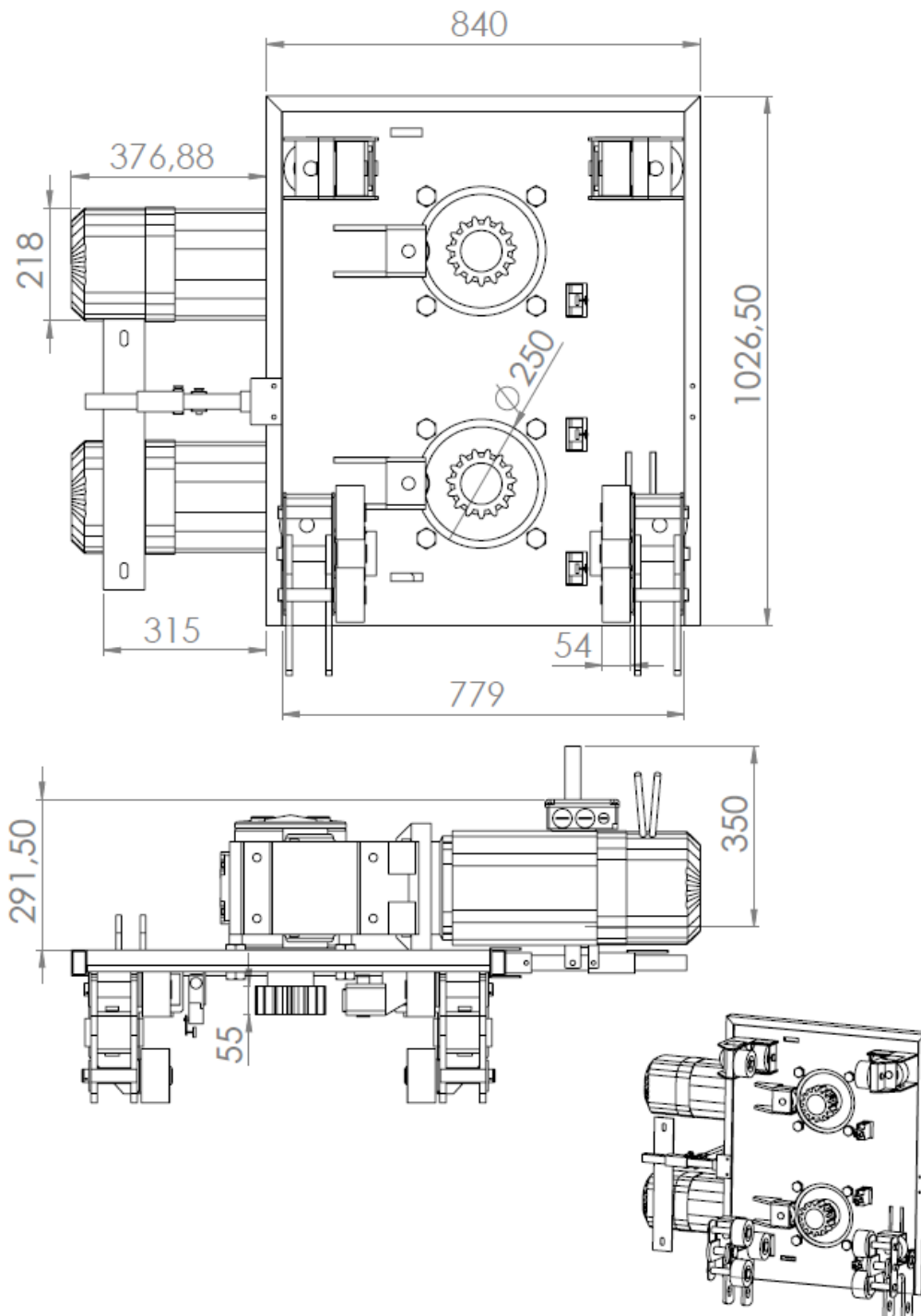
Plano 6: Arriostre (Montacargas)



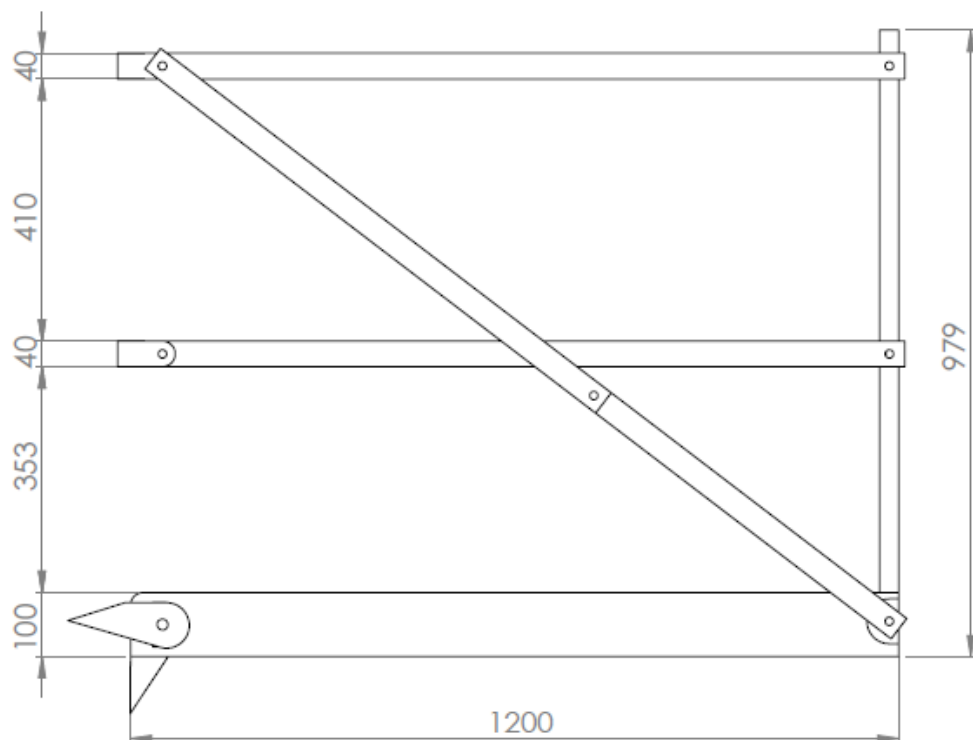
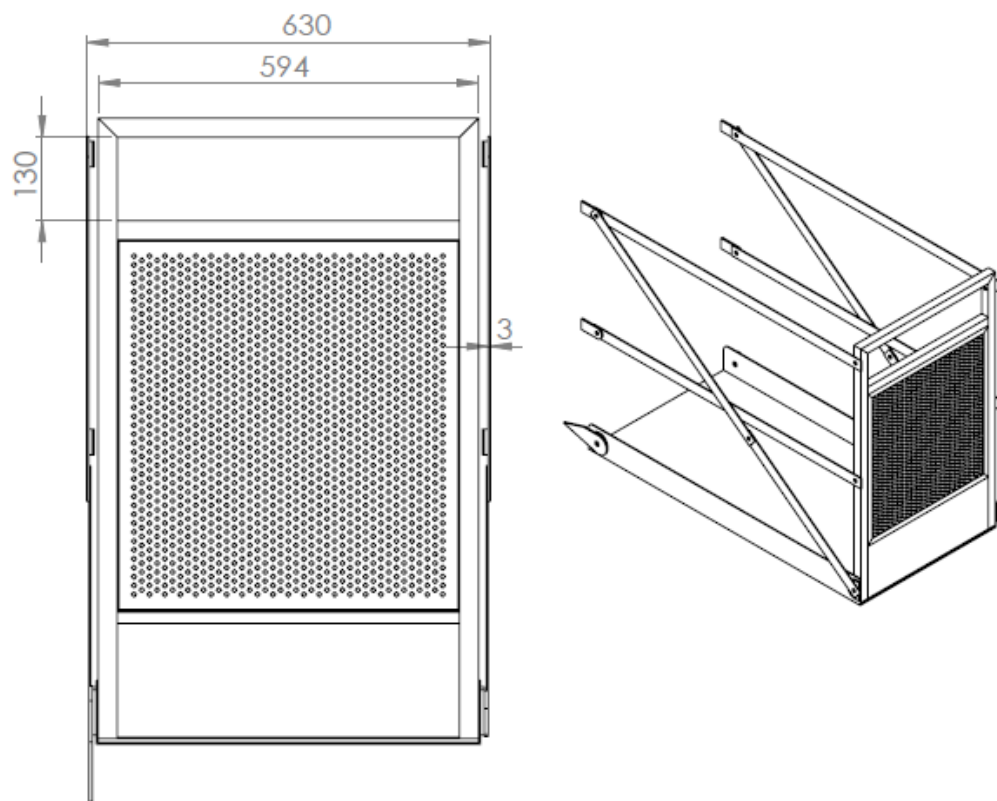
Plano 7: Trolley



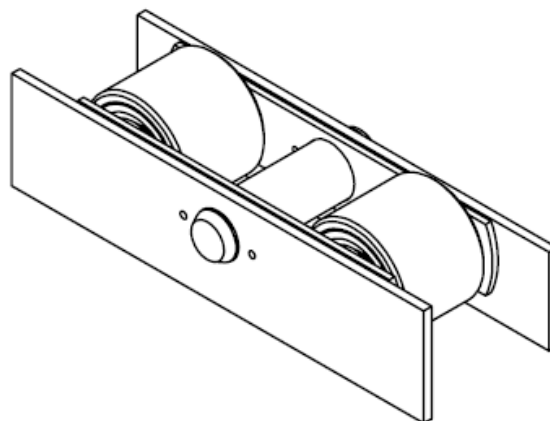
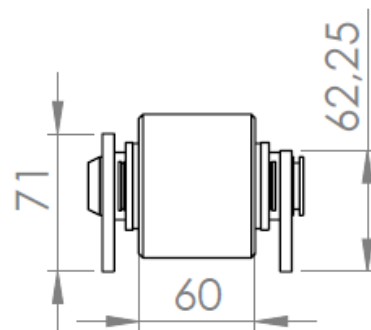
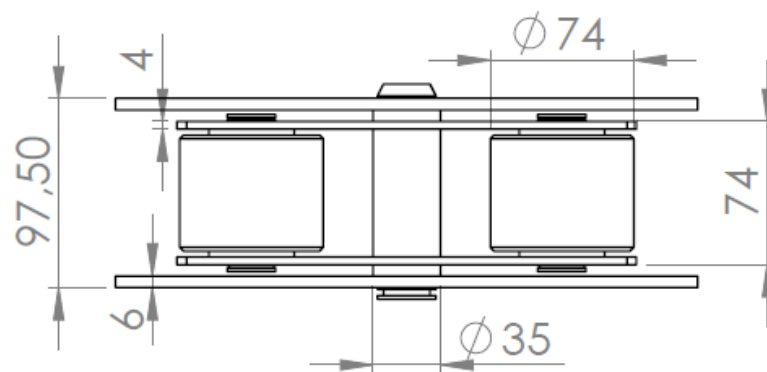
Plano 8: Patín



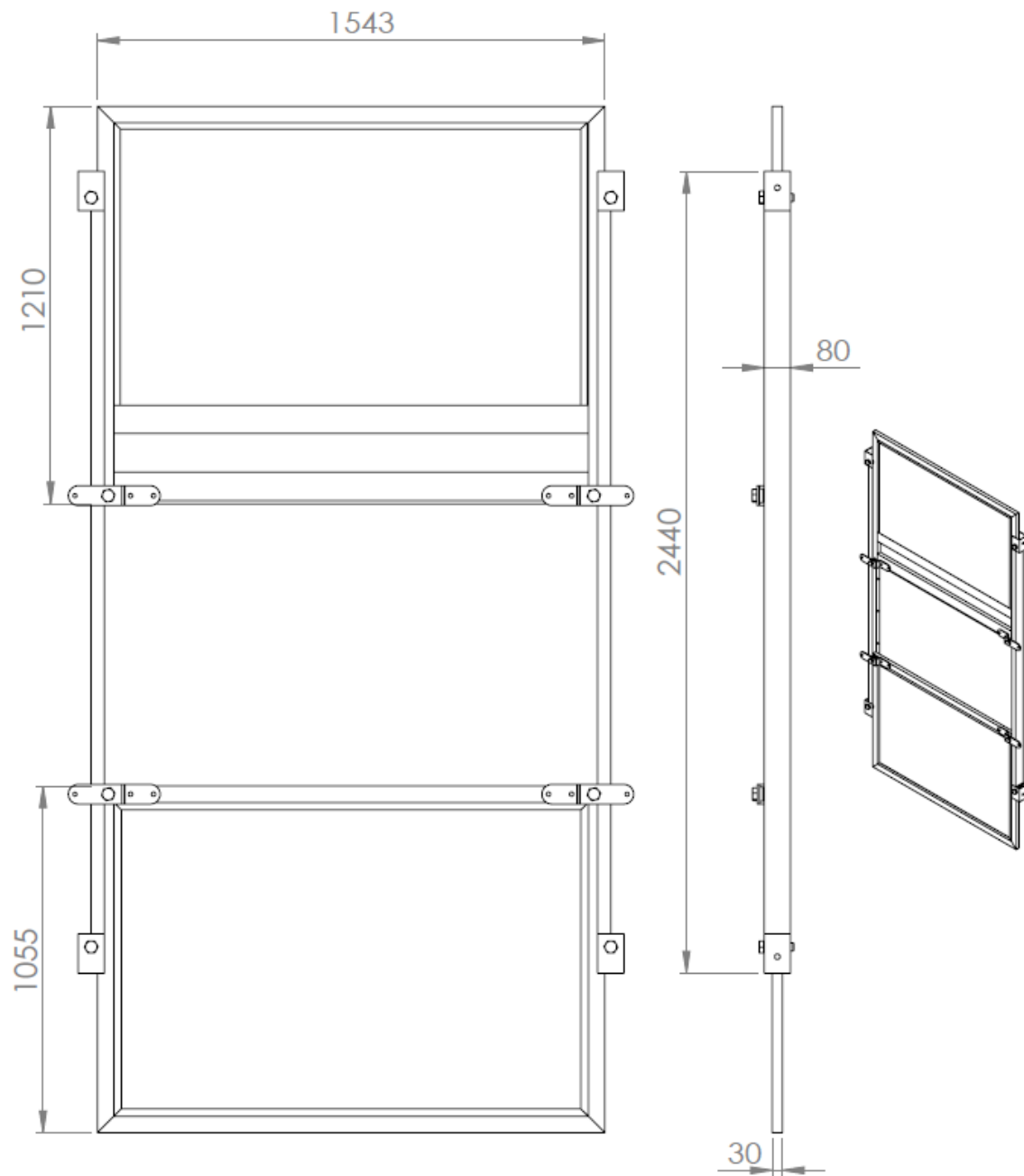
Plano 9: Grupo motor



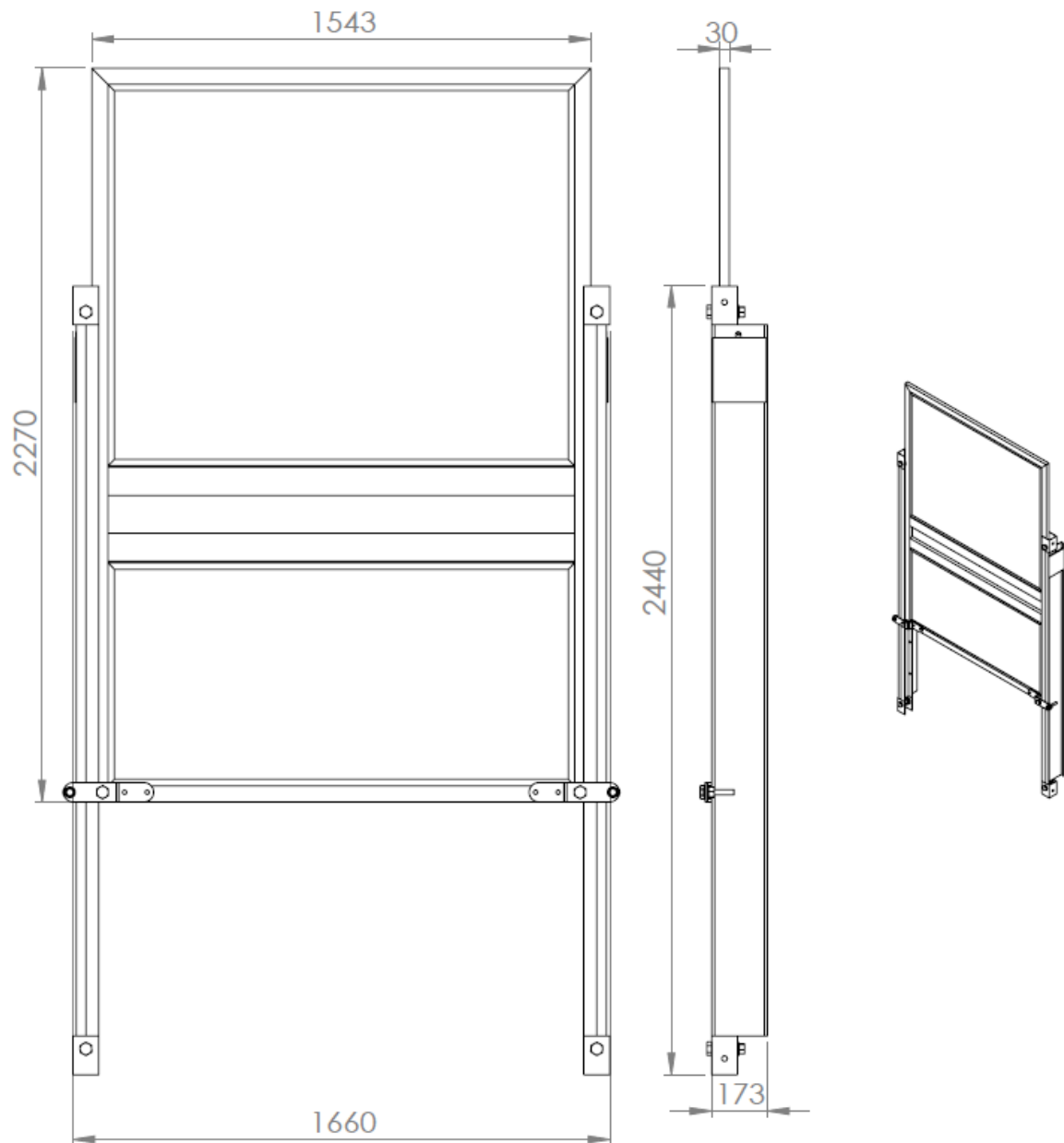
Plano 10: Trampilla abatible



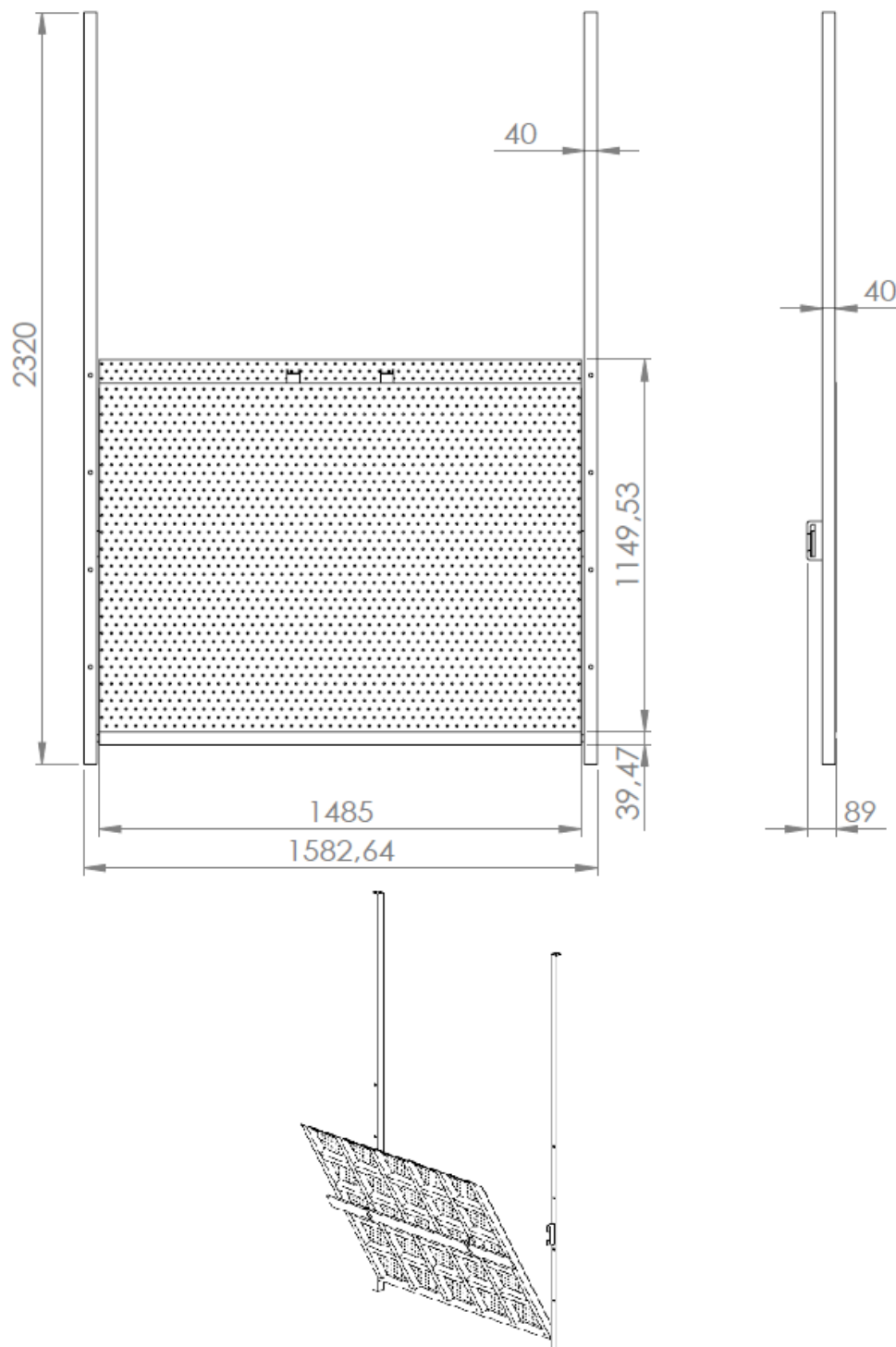
Plano 11: Rodillo soporte de cabina



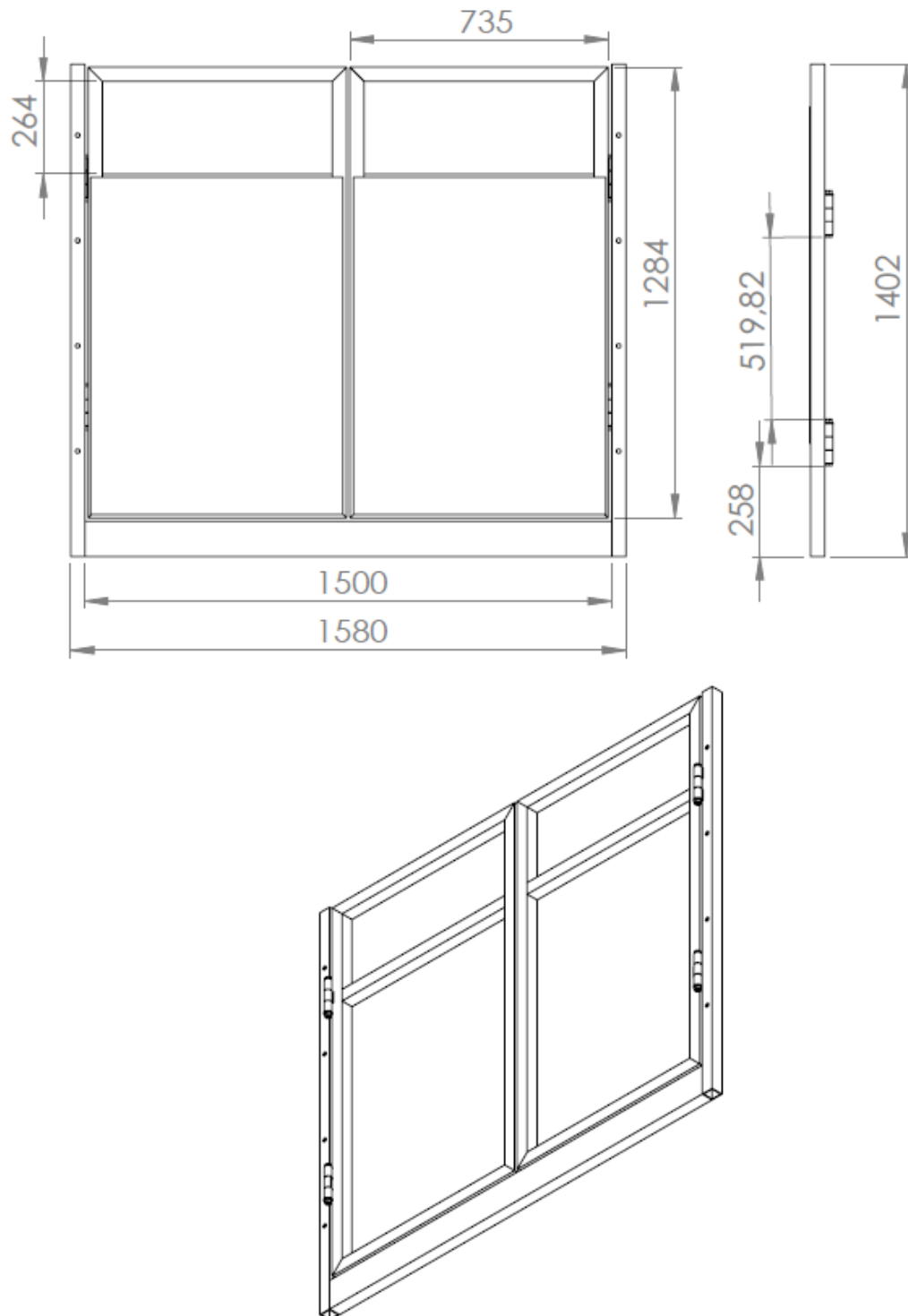
Plano 12: Puerta de doble hoja



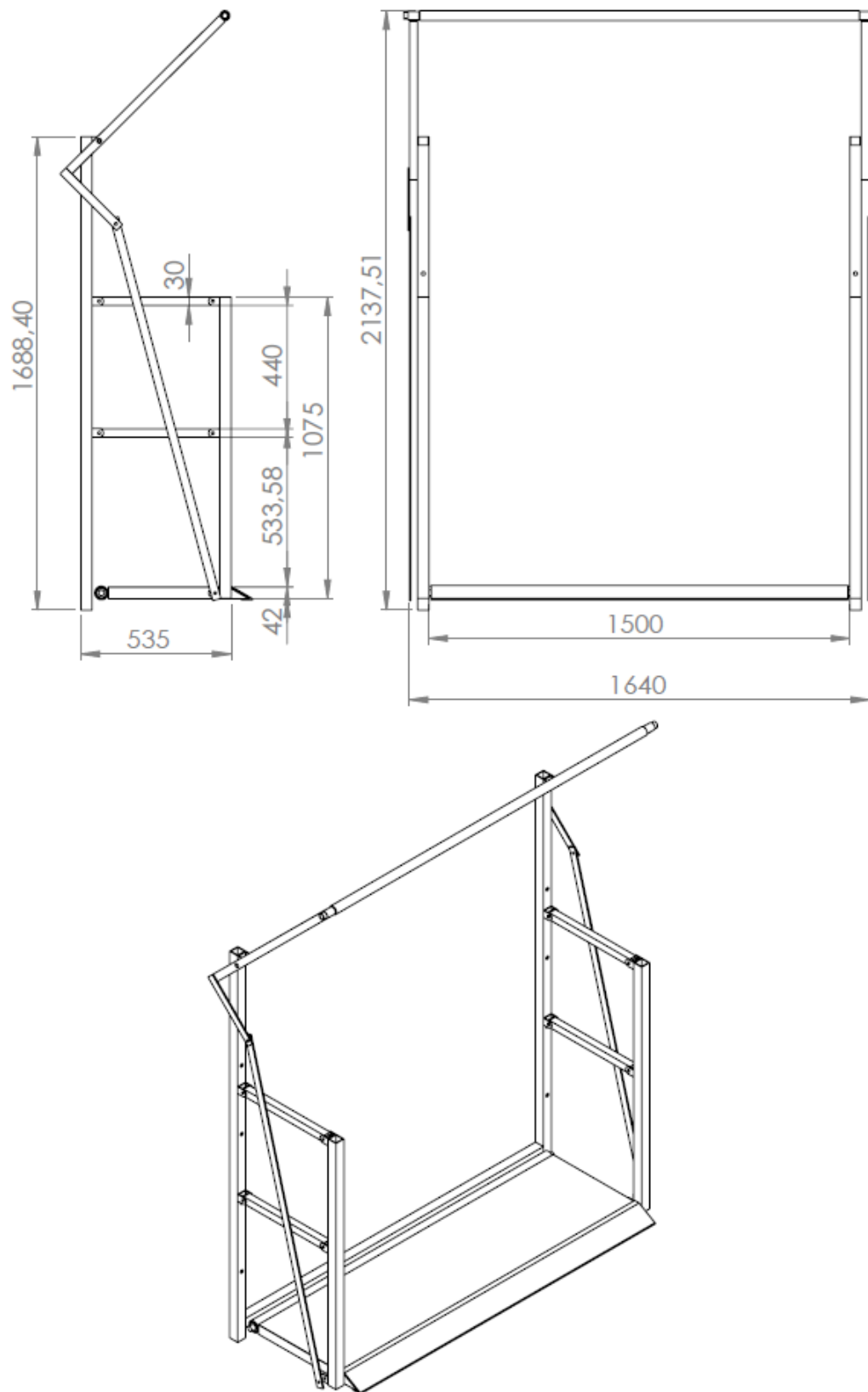
Plano 13: Puerta de guillotina



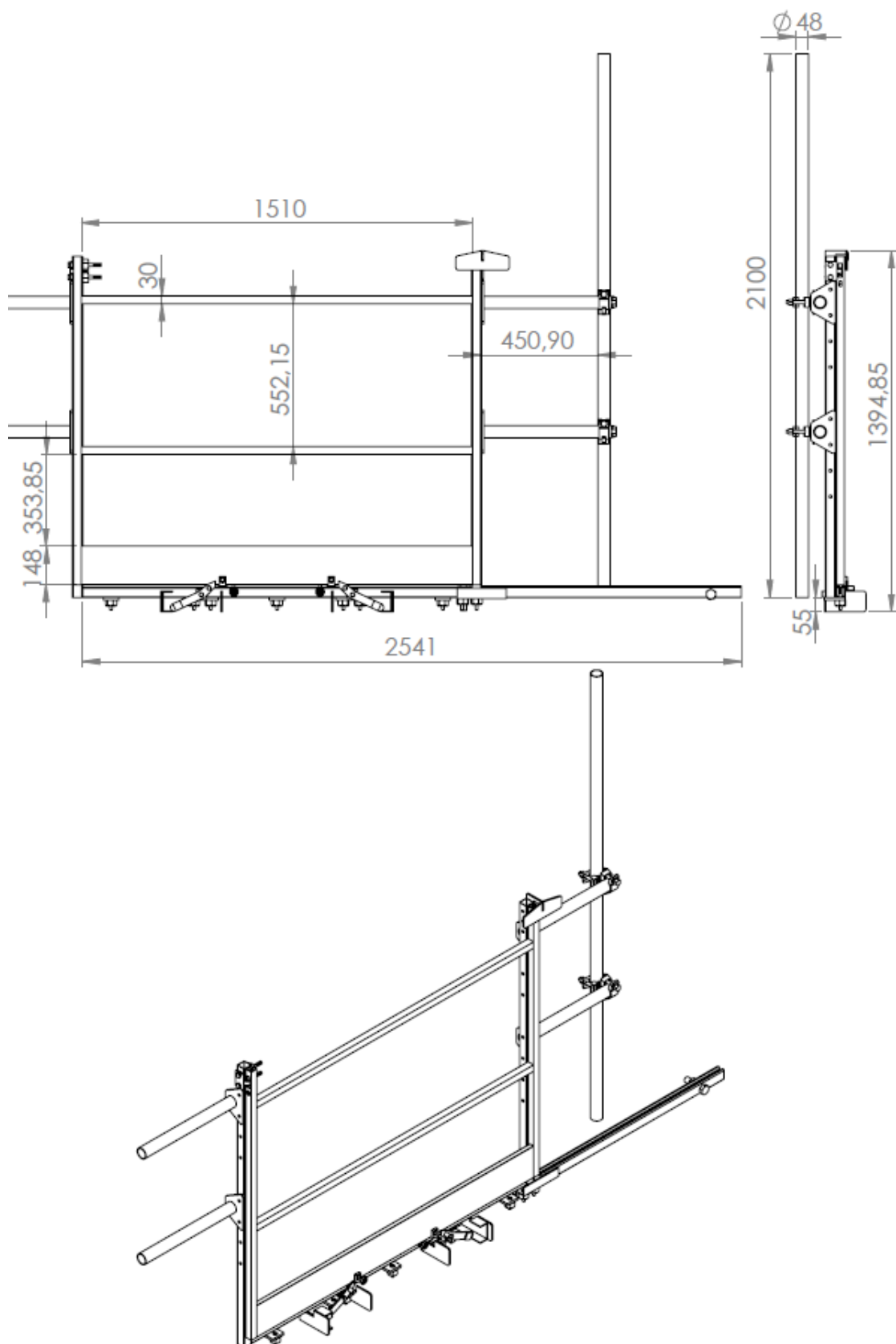
Plano 14: Trampilla grande abatible



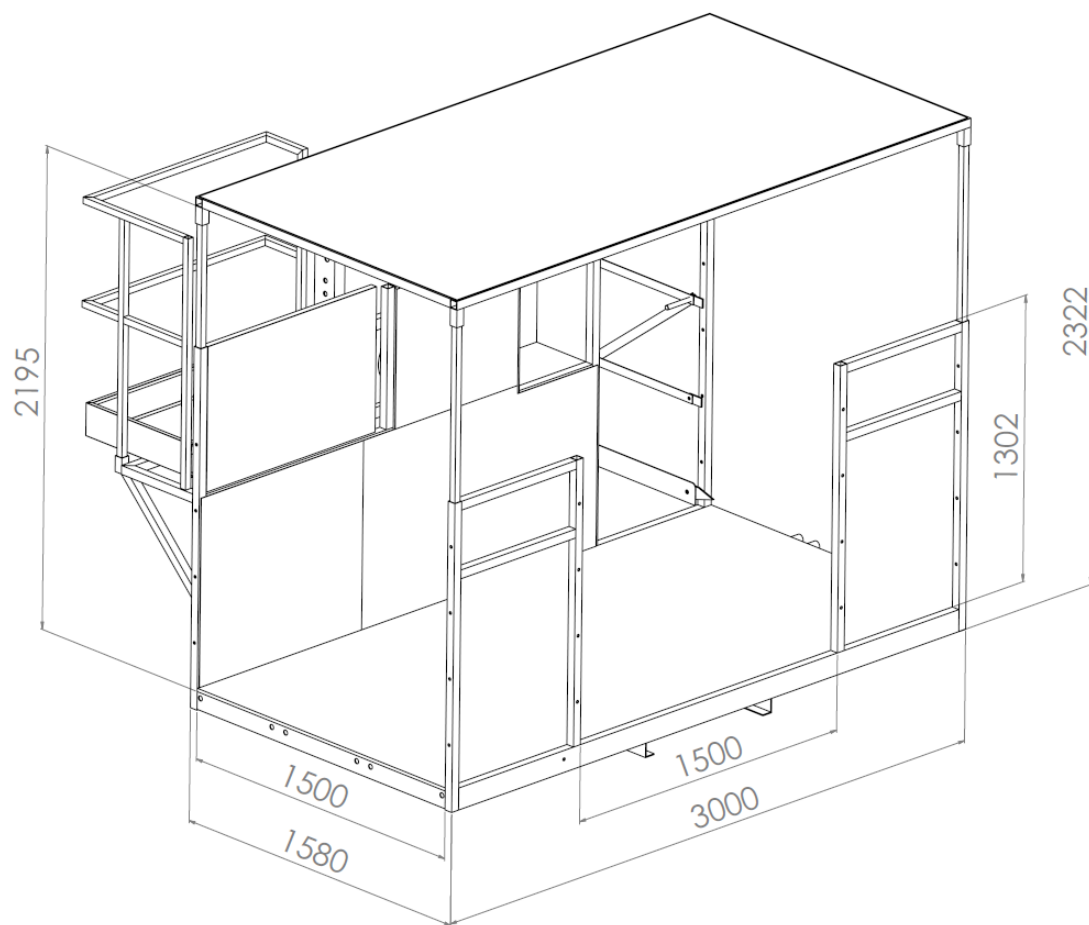
Plano 15: Portillas



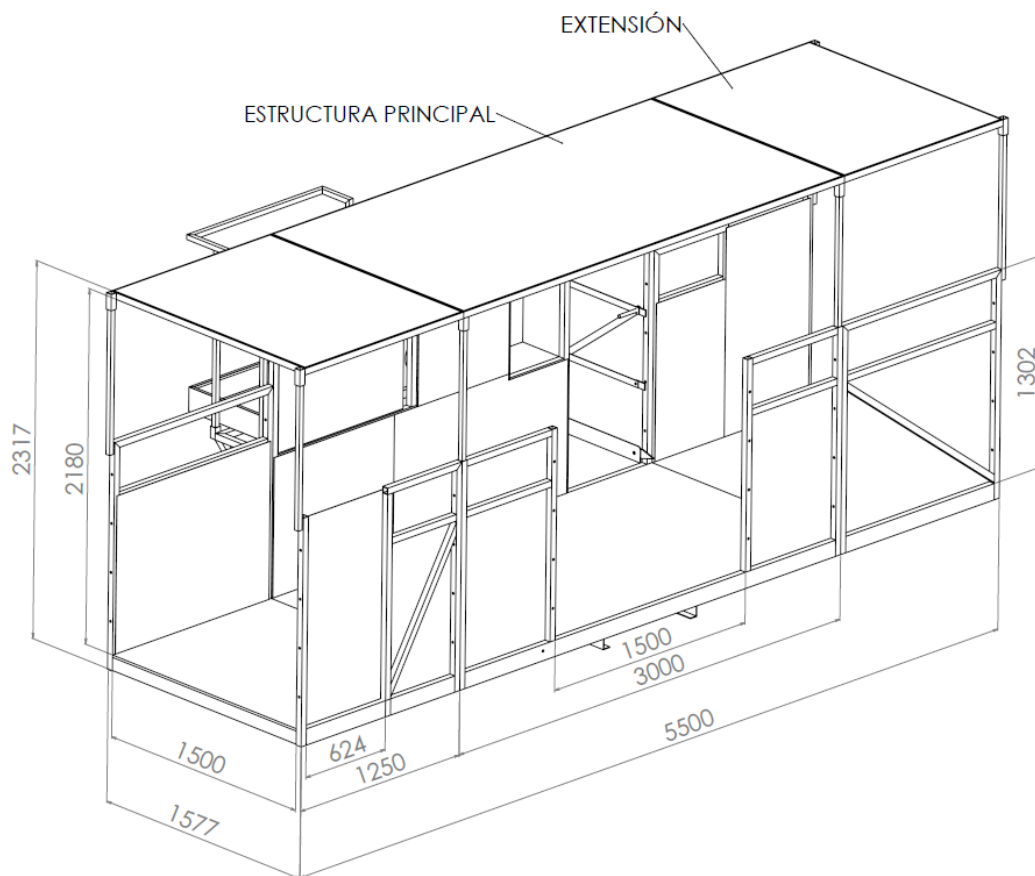
Plano 16: Trampilla abatible de brazo



Plano 17: Puerta de planta



Plano 18: Cabina (Montacargas)



Plano 19: Cabina (Plataforma de transporte)